

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektrotechniky**

**Návrh ovládání elektrického pohonu s frekvenčním měničem**  
**Proposal for Controlling Electric Drive with Frequency Converter**

**2020**

**Bc. Richard Blaho**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektrotechniky

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Richard Blaho**

Studijní program: N2661 Projektování elektrických systémů a technologií

Téma: **Návrh ovládání elektrického pohonu s frekvenčním měničem.**  
**Proposal for Controlling Electric Drive with Frequency Converter.**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- 1) Proveďte teoretický rozbor možnosti řízení a ovládání pohonů s frekvenčním měničem.
- 2) Rozeberte možnosti ovládání pomocí panelu HMI Siemens.
- 3) Na základě pokynů vedoucího diplomové práce proveďte návrh řešení ovládání vybraného pohonu.

Seznam doporučené odborné literatury:


Firemní literatura a software Siemens k měničům Sinamics G120 a S120.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Václav Sládeček, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2019

Datum odevzdání: 30.04.2020

  
doc. Ing. Vítězslav Stýskala, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: *15. května 2020*



.....  
podpis studenta

## **Poděkování**

Velmi rád bych poděkoval panu Ing. Václavu Sládečkovi, Ph.D. za jeho odborné rady a konzultace při vytváření této diplomové práce.

Mé poděkování rovněž patří celé mé rodině za pomoc a podporu během studia.

## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá problematikou frekvenčních měničů s možností ovládání pomocí dotykových panelů HMI. V této práci jsou popsány a realizovány způsoby řízení a ovládání elektrického pohonu s frekvenčním měničem pomocí kombinace ovládacího panelu HMI a řídicího programovatelného logického automatu. Teoretická část je soustředěná na rozbor možností řízení a ovládání frekvenčních měničů pomocí komunikační sběrnice Profinet, standardizovaného profilu PROFIdrive, příslušného telegramu, ovládacích panelů HMI a nadřazeného řídicího zařízení PLC. V praktické části je vypracován kompletní návrh výukového pracoviště pro řízení, ovládání a parametrizování vybraného elektrického pohonu. Projektová dokumentace obsahuje návrh řídicího rozvaděče spolu s protokolem o určení vnějších vlivů a posouzením a omezením rizika vybraného pracoviště. Softwarová část zahrnuje samotnou vizualizaci dotykového panelu HMI, parametrizaci frekvenčního měniče a hlavní program řídicí části programovatelného logického automatu.

## **Klíčová slova**

Ovládání elektrického pohonu; parametrizace frekvenčního měniče; Profinet; Siemens telegram; ovládací panel HMI

## **Abstract**

This diploma thesis deals with the issue of frequency converters with the possibility of control using HMI touch panels. This thesis examines the possibilities of control and operation of an electric drive with a frequency converter using a combination of an HMI control panel and a control programmable logic controller. The theoretical part is focused on the analysis of management options and control of the frequency inverters via the Profinet communication bus, the standardized PROFIdrive profile, the relevant telegram, the HMI control panels and the master control unit. The practical part is focused on the complete design of a learning workplace for control, operation and parameterization of a selected electric drive. The project documentation contains the design of the control cabinet together with the protocol on the determination of external influences and the assessment and reduction of the risk of the selected workplace. The software part includes the visualization of the HMI touch panel, the parameterization of the frequency converter and main program of the control part of the programmable logic controller.

## **Key words**

Electric drive control; frequency inverter parameterization; Profinet; Siemens telegram; HMI control panel

## Seznam použitých veličin

Veličina	Název veličiny	Jednotka	Název jednotky
-	přenosová rychlost	bit/s	bit za sekundu
$f$	frekvence	Hz	hertz
$f_1$	vstupní frekvence	Hz	hertz
$f_N$	jmenovitá frekvence	Hz	hertz
$I$	elektrický proud	A	ampér
$I_1$	statorový proud	A	ampér
$l$	délka	m	metr
$M$	točivý moment	Nm	newtonmetr
$n$	otáčky	ot/min	otáčky za minutu
$n_s$	synchronní otáčky	ot/min	otáčky za minutu
$p$	počet pólů	-	-
$p$	tlak	Pa	pascal
$P$	výkon	W	watt
$R_1$	odpor statoru	$\Omega$	ohm
$s$	skluz	-	-
$t$	čas	s	sekunda
$T$	teplota	$^{\circ}\text{C}$	stupeň Celsia
$T$	teplota	K	kelvin
$U$	napětí	V	volt
$U_1$	statorové napětí	V	volt
$U_d$	napětí meziobvodu	V	volt
$U_i$	konstantní statorové napětí	V	volt
$\psi_1$	magnetický tok statoru	Wb	weber
$\omega$	úhlová rychlost	$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$	radián za sekundu
$\omega_N$	jmenovitá úhlová rychlost	$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$	radián za sekundu

## Seznam použitých zkratk

Zkratka	Význam zkratky	Anglický význam
AC	střídavý proud	Alternating Current
AK	změna parametru	Request identifiers, Control → Inverter
CSMA/CD	protokol pro přístup k přenosovému médiu s detekcí kolizí	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
ČSN	česká technická norma	-
DC	stejnsměrný proud	Direct Current
DPRD_DAT	čtení konzistentních dat ze standardní slave decentralizované periferie	Read Consistent Data of a DP Standard Slave
DPWR_DAT	zápis konzistentních dat do standardní slave decentralizované periferie	Write Consistent Data of a DP Standard Slave
EMC	elektromagnetická kompatibilita	Electromagnetic Compatibility
EN	evropská norma	European Standard
F-DI	bezpečnostní digitální vstup	Fail-Safe Digital Input
GTO	hradlem vypínaný	Gate Turn-Off
HMI	rozhraní člověk a stroj	Human Machine Interface
IEC	mezinárodní elektrotechnická komise	International Electrotechnical Commission
IGBT	bipolární tranzistor s izolovaným hradlem	Insulated Gate Bipolar Transistor
IGCT	vypínatelný tyristor s integrovanou řídicí elektrodou	Integrated Gate-Commutated Thyristor
IND	index parametru	Parameter Index
IO	vstup/výstup	Input/Output
IP	stupeň krytí	Ingress Protection
IP	internetový protokol	Internet Protocol
IRT	izochronní v reálném čase	Isochronous Real-Time
ISO	mezinárodní organizace pro normalizaci	International Organization for Standardization
LED	elektroluminiscenční dioda	Light Emitting Diode
MOSFET	unipolární tranzistor řízený polem	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
NEMA	asociace výrobců elektrických zařízení	National Electrical Manufacturers Association
NRT	bez reálného času	Non Real-Time
PC	osobní počítač	Personal Computer
PELV	ochranné extra nízké napětí s uzemněným uzlem zdroje	Protective Extra-Low Voltage
PKE	identifikátor parametru	Parameter Identifier
PLC	programovatelný logický automat	Programmable Logic Controller
PWE	hodnota parametru	Parameter Value
PWM	pulzně šířková modulace	Pulse Width Modulation
PZD	zpracovávaná data	Process Data
RT	reálný čas	Real Time



STO	bezpečné odpojení momentu	Safe Torque Off
STW	řídící slovo	Control Word
TCP/IP	primární přenosový protokol/protokol síťové vrstvy	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TN	technická norma	-
TN-S	elektrická síť s uzemněným uzlem zdroje s rozděleným ochranným a středním vodičem	-
UPS	zdroj nepřerušovaného napájení	Uninterruptible Power Supply/Source
USB	univerzální sériová sběrnice	Universal Serial Bus
UTP	nestíněná kroucená dvojlinka	Unshielded Twisted Pair
ZSW	stavové slovo	Status Word

## Seznam obrázků

<i>Obrázek 1.1 – Parametry výkonových polovodičových součástek [2]</i> .....	- 16 -
<i>Obrázek 1.2 – Nepřímý měnič frekvence s napěťovým střídačem [5]</i> .....	- 17 -
<i>Obrázek 2.1 – Momentové charakteristiky pro skalární řízení motoru U/f [1]</i> .....	- 19 -
<i>Obrázek 2.2 – Blokové schéma přímé (vlevo) a nepřímé (vpravo) vektorové regulace [3]</i> .....	- 20 -
<i>Obrázek 2.3 – Pohyb trajektorie koncového bodu vektoru magnetického toku [4]</i> .....	- 21 -
<i>Obrázek 3.1 – Obecný aplikační model pohonu s použitím PROFIdrive [8]</i> .....	- 23 -
<i>Obrázek 3.2 – Základní stavový diagram řízení pohonu [8]</i> .....	- 25 -
<i>Obrázek 3.3 – Princip zápisu jednotlivých dat parametrů do 16 řídicích slov (PZD) [9]</i> .....	- 26 -
<i>Obrázek 3.4 – Stavba standardního telegramu 20 [9]</i> .....	- 27 -
<i>Obrázek 3.5 – Struktura datového kanálu [9]</i> .....	- 27 -
<i>Obrázek 4.1 – Ukázka použitého ovládacího panelu SIMATIC HMI TP700 [10]</i> .....	- 29 -
<i>Obrázek 4.2 – Síťové schéma pro ovládání aplikace s frekvenčním měničem</i> .....	- 31 -
<i>Obrázek 4.3 – Ukázka frekvenčních měničů SINAMICS G120C v provedení FSAA až FSF [11]</i> .....	- 32 -
<i>Obrázek 4.4 – Principiální provedení měniče G120C s idealizovaným odebíraným proudem [6]</i> ..	- 32 -
<i>Obrázek 4.5 – Průběh idealizovaného proudu a napětí za usměrňovačem [6]</i> .....	- 33 -
<i>Obrázek 4.6 – Příklad hardwarového zapojení pro použitý měnič G120C [11]</i> .....	- 34 -
<i>Obrázek 5.1 – Ukázka vývojového prostředí WinCC V14 s náhledem úvodní obrazovky</i> .....	- 35 -
<i>Obrázek 5.2 – Náhled ovládacího panelu z vizualizace HMI</i> .....	- 36 -
<i>Obrázek 5.3 – Příklady ovládání frekvenčního měniče</i> .....	- 38 -
<i>Obrázek 5.4 – Zadávání jmenovitých parametrů připojeného motoru</i> .....	- 39 -
<i>Obrázek 5.5 – Původní vypočítané parametry motoru</i> .....	- 39 -
<i>Obrázek 5.6 – Výsledek identifikačního měření parametrů motoru</i> .....	- 40 -
<i>Obrázek 5.7 – Ukázka základu volného telegramu 999 [12]</i> .....	- 40 -
<i>Obrázek 5.8 – Nastavení rychlosti, reverzace a ručního ovládání</i> .....	- 42 -
<i>Obrázek 5.9 – Nastavení generátoru rampy</i> .....	- 43 -
<i>Obrázek 5.10 – Nastavení délky pro rozběhovou a doběhovou rampu</i> .....	- 43 -
<i>Obrázek 5.11 – Nastavení pro funkce vypnutí</i> .....	- 44 -
<i>Obrázek 5.12 – Průběh funkce STO - motor v klidu (vlevo), rotující motor (vpravo)</i> .....	- 45 -
<i>Obrázek 5.13 – Realizace bezpečnostní funkce STO</i> .....	- 45 -
<i>Obrázek 5.14 – Stavba vytvořeného řídicího bloku Move</i> .....	- 46 -
<i>Obrázek 5.15 – Vytvoření cyklické komunikace mezi PLC a frekvenčním měničem</i> .....	- 47 -
<i>Obrázek 5.16 – Ukázka převodu z datového typu Word na Real</i> .....	- 48 -
<i>Obrázek 5.17 – Ukázka převodu rozběhové a doběhové rampy</i> .....	- 48 -
<i>Obrázek 5.18 – Náhled dispozice montážního panelu</i> .....	- 50 -
<i>Obrázek 5.19 – Navržené schématické zapojení frekvenčního měniče</i> .....	- 51 -
<i>Obrázek 5.20 – Ukázka výsledku výpočtu pro oteplení rozvaděče</i> .....	- 52 -
<i>Obrázek 5.21 – Protokol o určení vnějších vlivů</i> .....	- 53 -
<i>Obrázek 5.22 – Návrh pracoviště pro parametrizaci a ovládání elektrického pohonu</i> .....	- 54 -
<i>Obrázek 5.23 – Určení posouzení rizika</i> .....	- 55 -

## Seznam tabulek

<i>Tabulka 3.1 – Aplikační třídy frekvenčních měničů dle PROFIdrive [8] .....</i>	<i>- 25 -</i>
<i>Tabulka 3.2 – Rozložení dat v kanálu parametru v řídícím slově PZD1: bit 0 = ON/OFF1 .....</i>	<i>- 28 -</i>
<i>Tabulka 5.1 – Stavba vytvořeného řídícího slova STW1 .....</i>	<i>- 41 -</i>

# Obsah

Úvod.....	- 14 -
1 Elektrický pohon s frekvenčním měničem.....	- 15 -
1.1 Asynchronní motor.....	- 15 -
1.2 Frekvenční měnič .....	- 16 -
1.2.1 Nepřímý měnič frekvence .....	- 16 -
1.2.2 Frekvenční měnič s napětiovým střídačem.....	- 17 -
2 Řízení elektrického pohonu s frekvenčním měničem .....	- 18 -
2.1 Skalární řízení .....	- 18 -
2.2 Vektorové řízení.....	- 19 -
2.3 Regulace pomocí přímého řízení momentu.....	- 20 -
3 Možnosti ovládání frekvenčního měniče pomocí komunikační sběrnice .....	- 22 -
3.1 Profinet.....	- 22 -
3.1.1 Rozdělení Profinet na základě způsobu komunikace .....	- 22 -
3.2 PROFIdrive .....	- 23 -
3.2.1 Aplikační model .....	- 23 -
3.2.2 Model parametrů PROFIdrive.....	- 24 -
3.2.3 Základní způsoby komunikace PROFIdrive.....	- 24 -
3.2.4 Aplikační třídy frekvenčních měničů .....	- 24 -
3.3 Telegram.....	- 26 -
3.3.1 Popis Siemens telegramu.....	- 26 -
3.3.2 Datová struktura kanálu parametru .....	- 27 -
4 Možnosti ovládání elektrického pohonu s frekvenčním měničem .....	- 29 -
4.1 Možnosti ovládání pomocí HMI panelu.....	- 29 -
4.1.1 SIMATIC HMI Basic .....	- 29 -
4.1.2 SIMATIC HMI Comfort .....	- 29 -
4.1.3 Použitý panel SIMATIC HMI TP700 Comfort.....	- 30 -
4.2 Komunikace HMI – PLC – frekvenční měnič.....	- 30 -
4.2.1 Struktura komunikace.....	- 30 -
4.2.2 Použité PLC SIMATIC S7-1200, CPU 1215C DC/DC/DC.....	- 31 -
4.3 Frekvenční měnič SINAMICS G120C.....	- 32 -
4.3.1 Technické parametry použitého měniče SINAMICS G120C .....	- 32 -

4.3.2	Hardwarové ovládání frekvenčního měniče .....	33 -
5	Návrh ovládání elektrického pohonu s frekvenčním měničem .....	35 -
5.1	Návrh vizualizace HMI panelu.....	35 -
5.1.1	Popis vlastní vizualizace pro ovládání elektrického pohonu.....	35 -
5.2	Parametrizace frekvenčního měniče SINAMICS G120C .....	37 -
5.2.1	Uvádění pohonu do provozu .....	38 -
5.2.2	Identifikační rozběh.....	39 -
5.2.3	Návrh vlastního volného telegramu.....	40 -
5.2.4	Návrh parametrizace frekvenčního měniče .....	41 -
5.2.5	Návrh bezpečnostní funkce .....	45 -
5.3	Návrh řídicího programu PLC.....	46 -
5.3.1	Řídicí blok Move.....	46 -
5.3.2	Řídicí blok Telegram.....	47 -
5.3.3	Řídicí blok Convert .....	47 -
5.4	Projektová dokumentace pro ovládání vybraného pohonu .....	49 -
5.4.1	Návrh rozvaděče pro ovládání vybraného pohonu .....	49 -
5.4.2	Výpočet oteplení rozvaděče .....	51 -
5.4.3	Protokol o určení vnějších vlivů.....	52 -
5.5	Návrh pracoviště pro parametrizaci a ovládání elektrického pohonu .....	53 -
5.5.1	Určení mezí navrženého pracoviště.....	54 -
5.5.2	Posouzení rizika a snižování rizika navrženého pracoviště.....	55 -
	Závěr .....	57 -

# Úvod

Tato diplomová práce se zabývá implementací frekvenčních měničů s možností ovládání pomocí dotykových panelů HMI do aplikací s elektrickými pohony. Elektrické pohony se v posledních letech výrazně modernizují a pro jejich ovládání se začínají nasazovat sofistikovanější řešení. V diplomové práci byly popsány a realizovány možnosti řízení pomocí zařízení od společnosti Siemens v kombinaci ovládacího panelu HMI, frekvenčního měniče a nadřazeného řídicího programovatelného logického automatu.

V teoretické části diplomové práce jsou rozebrány možnosti řízení a ovládání frekvenčních měničů pomocí komunikační sběrnice Profinet, standardizovaného profilu PROFINET, příslušného telegramu, ovládacích panelů HMI a nadřazeného řídicího programovatelného logického automatu Siemens SIMATIC S7-1200. Velká část byla věnována popisu komunikace a možnostem ovládání pro konkrétní použitý frekvenční měnič Siemens SINAMICS G120C.

Praktická část je soustředěná na kompletní zpracování návrhu výukového pracoviště, na kterém by následně po jeho realizaci mohlo probíhat řízení, ovládání a parametrizování vybraného připojeného elektrického pohonu. Jako vzorový příklad byla vytvořena projektová dokumentace, ve které se nachází hardwarové zpracování a kompletní návrh řídicího rozvaděče spolu s protokolem o určení vnějších vlivů a posouzením a omezením rizika vybraného pracoviště.

Pro navrženou technologii byla rovněž zpracována softwarová část v softwaru TIA Portal V14, ve které je obsažena vytvořená ovládací aplikace ve formě vizualizace na použitém dotykovém panelu HMI, parametrizace samotného frekvenčního měniče a program řídicí části programovatelného logického automatu.

# 1 Elektrický pohon s frekvenčním měničem

## 1.1 Asynchronní motor

Princip asynchronního motoru vychází ze silového působení rotujícího magnetického pole statoru a rotou. Jednotlivé cívky v motoru jsou vždy prostorově posunuty vůči sobě o  $120^\circ$ . Průchodem proudu cívkami v jednotlivých vinutích se uvnitř statoru vytváří točivé magnetické pole. Rotor je nejčastěji složen z rotorové klece, která je tvořena tyčemi a na koncích spojena kroužky nakrátko. Díky působení magnetického pole statoru se v tyčích rotoru indukuje napětí. To umožňuje průtok proudu zkratovanými rotorovými tyčemi. Průchodem proudu v rotoru se budí rotorové magnetické pole. Magnetická pole statoru a rotoru na sebe vzájemně působí a vzniká tak točivý moment, ten má za následek roztočení rotoru. Pro asynchronní motor je typické, že se otáčky magnetického pole rotoru nerovnají otáčkám magnetického pole statoru a je proto provozován s určitým skluzem (rovnice 1.1):

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100 (\%) \quad (1.1)$$

Tento jev vyplývá z indukčního zákona, kdy k indukci napětí do vodiče je potřeba časová změna magnetického pole. Pokud by otáčky magnetických polí rotoru a statoru byly stejné, ztratil by motor svůj točivý moment. Synchronní otáčky statoru se určují dle provozované frekvence a počtu pólů statoru a jsou dány vztahem (rovnice 1.2):

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} (\text{min}^{-1}) \quad (1.2)$$

Vztah pro otáčky asynchronního motoru:

$$n = n_s \cdot (1 - s) = \frac{60 \cdot f}{p} \cdot (1 - s) (\text{min}^{-1}) \quad (1.3)$$

Z rovnice 1.3 lze zjistit, že rychlost asynchronního motoru lze řídit třemi způsoby. Konkrétně se jedná o změnu skluzu, počtu pólů statoru nebo změnou rychlosti otáčení statorového magnetického pole. Řízení rychlosti u asynchronních motorů s kotvou nakrátko se nejčastěji provádí změnou napájecího napětí nebo pomocí změny frekvence. Tyto motory nemají možnost vřazovat odpory do obvodu kotvy jako například motory s kotvou kroužkovou.

Regulací pomocí změny napájecího napětí se mění moment motoru a určitému zatěžovacímu momentu odpovídá velikost otáček. Změna momentu pomocí napájecího napětí probíhá kvadraticky, to má za následek regulaci v omezeném rozsahu.

Pro řízení rychlosti změnou frekvence je charakteristické, že při konstantním napájecím napětím je maximální moment motoru nepřímo úměrný kvadrátu kmitočtu. Snižováním frekvence pod hodnotu jmenovitou tj. 50 Hz se moment zvrátí a záběrný moment zvyšují a zároveň se zvyšuje i magnetický tok, nasycení stroje a magnetizační proud. Tyto vlastnosti mohou vést ke zhoršení energetických ukazatelů a k nedovolenému oteplování.

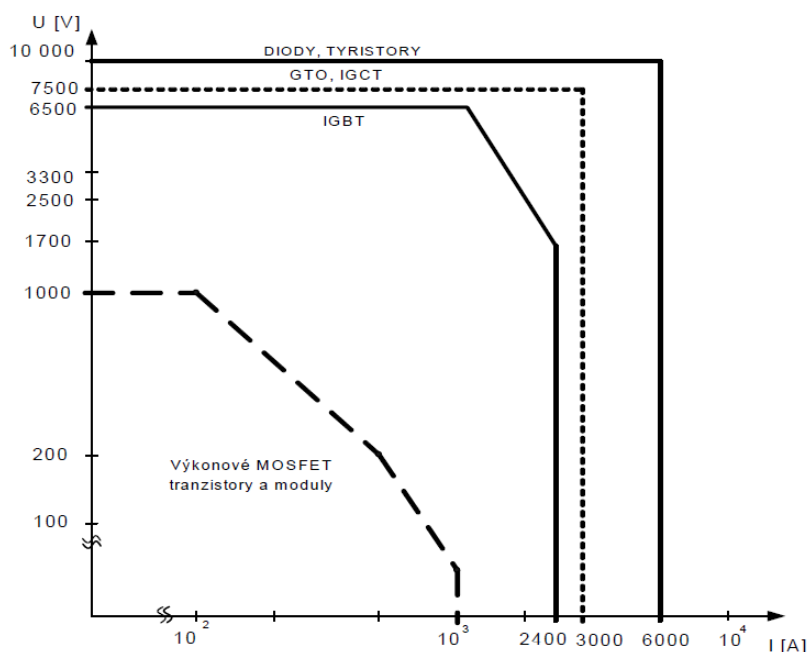
Regulace pomocí změny počtu pólů je konstrukční záležitost, která umožňuje pouze skokovou změnu otáček. Motor má předem daný počet pólů, kterému odpovídá určitá rychlost (vzorec 1.3). Lze použít speciální typy motorů, které obsahují více vinutí a umožňují tak přepínání počtu pólů ve statoru [1].

## 1.2 Frekvenční měnič

Měniče kmitočtu nebo také frekvence jsou taková zařízení, která umožňují přenos elektrické energie mezi jeho vstupním a výstupním obvodem. Charakteristická je změna frekvence, která je případně doprovázena i regulací napětí.

Hlavní část měniče je tvořena spínacími prvky. Ty se v posledních letech výrazně zdokonalují, a to hlavně v oblastech parametrů proudového a napěťového zatížení. Zlepšení také zaznamenaly jejich dynamické parametry, mezi které patří zejména rychlost sepnutí a vypnutí, strmosti nárůstu napětí a proudů nebo rychlost spínací frekvence.

V dnešních výkonových měničích se nejčastěji používá IGBT tranzistor, který je nejvhodnější pro oblasti nízkých a středních výkonů. Pro menší výkony se uplatňují i spínací prvky typu MOSFET. V oblastech vysokých a velmi vysokých výkonů dominují spínací prvky typu tyristor, například GTO a v poslední době se lze setkat i s IGCT. Ve starších aplikacích se objevují převážně klasické tyristory.



Obrázek 1.1 – Parametry výkonových polovodičových součástek [2]

Oblast frekvenčních měničů kromě volby spínacích prvků také zahrnuje problematiku jako je řízení měničů, regulaci připojených motorů, typ zapojení frekvenčního měniče až po problematiku elektromagnetické kompatibility EMC. Frekvenční měniče je možno rozdělit podle způsobu zapojení vstupního a výstupního obvodu na dva základní typy, jedná se o přímý a nepřímý měnič frekvence. Nepřímé měniče frekvence se v moderních aplikacích používají častěji. Tento typ měniče byl použit i pro zpracování návrhu ovládání elektrického pohonu v praktické části diplomové práce [2].

### 1.2.1 Nepřímý měnič frekvence

Nepřímý měnič frekvence mění vstupní síťové napětí na regulované výstupní napětí s proměnnou frekvencí. Toho lze dosáhnout pomocí kombinace usměrňovač – meziobvod – střídač. Na vstupní části usměrňovače se usměrní napájecí síťové napětí na stejnosměrné napětí do meziobvodu. Stejnosměrný meziobvod tvoří vstupní filtr napěťového střídače. Meziobvod vyhlazuje výstupní napětí

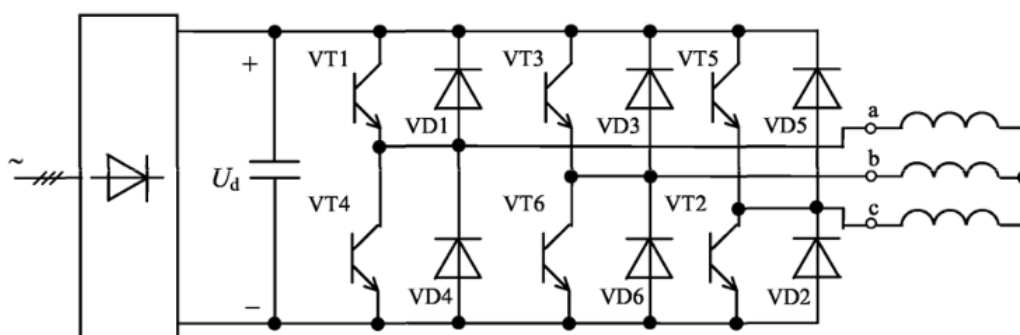


usměrňovače a umožňuje výměnu jalové energie mezi meziobvodem a motorem. Hodnota filtračního kondenzátoru a tlumivky určuje stabilitu napětí meziobvodu a zároveň ovlivňuje průběh odebíraného proudu usměrňovačem. Výstupní část je tvořena střídačem, ze kterého je odebíráno výstupní střídavé napětí s proměnnou frekvencí, kterým je napájen připojený elektromotor.

Podle typu stejnosměrného meziobvodu se rozlišují nepřímé měniče frekvence na napět'ový a proudový typ. Napět'ový typ využívá v meziobvodu kondenzátor a u proudového typu je v meziobvodu využita tlumivka [2].

### 1.2.2 Frekvenční měnič s napět'ovým střídačem

Měniče s napět'ovým střídačem jsou na vstupu vybaveny neřízeným usměrňovačem, to umožňuje výrazné ekonomické úspory a jednodušší konstrukční provedení. Proto mají tyto měniče v dnešní době dominantní zastoupení v průmyslových aplikacích. Meziobvod je tvořen kondenzátorem, který lze považovat za zátěž pro usměrňovač a zároveň jako zdroj pro napět'ový střídač. Spínací prvky VT1 až VT6 bývají nejčastěji v provedení pro malé a střední výkony jako IGBT tranzistory. U velkých výkonů se převážně používají GTO tyristory. Vhodným programem spínání spínacích prvků VT1 až VT6 dochází k přeměně stejnosměrného napětí meziobvodu na střídavé třífázové napětí. Střídač je vybaven zpětnými diodami VD1 až VD6, ty umožňují průchod jalové energie mezi zátěží a zdrojem. Vypne-li například VT1, pak VD4 umožní, aby proud fáze „a“ dozněl v původním smyslu. Tyto zpětné diody tvoří jako celek neřízený usměrňovač a slouží pro přenos činné energie ze zátěže do zdroje. Napět'ové střídače se nejčastěji provozují s proměnným úhlem sepnutí  $\Psi$  spínacích prvků. Velikost spínacího úhlu  $\Psi$  se řídí napětím na zátěži [5].



Obrázek 1.2 – Nepřímý měnič frekvence s napět'ovým střídačem [5]

## 2 Řízení elektrického pohonu s frekvenčním měničem

Pro plynulé řízení elektrických motorů se v dnešní době používají převážně frekvenční měniče. Tento typ regulace se začal výrazně rozvíjet s příchodem polovodičových vypínatelných součástek. Jedná se o nejefektivnější řízení z důvodů udržitelnosti konstantní požadované rychlosti. Zároveň se jedná o téměř bezetrátovou regulaci, kdy jsou úbytky pouze na polovodičových prvcích.

U moderních frekvenčních měničů se lze setkat se třemi typy řízení:

- skalární řízení,
- vektorové řízení,
- regulace pomocí přímého řízení momentu [3], [4].

### 2.1 Skalární řízení

Tato metoda vychází ze zjednodušeného matematického modelu motoru, kdy řízení probíhá při konstantním poměru napětí a kmitočtu na vstupu asynchronního motoru, tj. metoda frekvenčně napět'ového řízení  $U/f$ . Skalární řízení lze používat v aplikacích, které nevyžadují velmi přesné řízení otáček motoru a pracují zejména v ustáleném stavu. Ten nastává po odeznění všech přechodových dějů způsobených zejména rychlými změnami zátěže nebo napájení stroje. Charakteristické pro ustálený stav je konstantní hodnota oteplení motoru.

Pro skalární řízení je vhodné použít PWM modulace nebo PWM modulaci s 3. harmonickou v oblasti  $\omega = (0 \div \omega_N)$ , pro oblast vyšších otáček  $\omega = (\omega_N \div 2\omega_N)$  se volí obdélníkové řízení. V oblasti frekvencí  $f = (0 \div f_N)$ , se fázové napětí statoru volí z rozsahu  $U_1 = (0 \div U_N)$ . V této oblasti je charakteristické pro asynchronní motor, že disponuje konstantním momentem, který odpovídá až maximálnímu momentu  $M_{\max}$ . Pokud je frekvence vyšší než jmenovitá frekvence a fázové napětí statoru je rovno jmenovitému napětí statoru, pak dochází k odbuzování motoru a tím klesá jeho maximální moment  $M_{\max}$ . Zásadní problém této regulace nastává v oblasti nízkých otáček. Pokud se požadovaná frekvence napájecího napětí blíží nule, pak by se i napájecí napětí motoru mělo blížit nule. V takovém případě by ale nedošlo k rozběhnutí motoru, protože minimální napětí na výstupu střídače nedokáže protlačit vinutím statoru dostatečně velký proud potřebný pro jeho rozběhnutí. Z toho důvodu se přičítá malé napětí  $\Delta U$ , které umožňuje rozběhnout motor i z nulových otáček.

Při skalárním řízení je nutné dodržet podmínku konstantního magnetického toku, která vychází z této rovnice:

$$\bar{U}_1 = R_1 \cdot I_1 + \frac{d\bar{\Psi}_1}{dt} \quad (2.1)$$

Po derivaci dostaneme:

$$\bar{U}_1 = R_1 \cdot I_1 + k \cdot f_1 \cdot \bar{\Psi}_1 \quad (2.2)$$

Pokud zanedbáme odpor statoru, tak získáme rovnici pro konstantní magnetický tok:

$$U_1 = k \cdot f_1 \cdot \Psi_1 \rightarrow \Psi_1 \approx \frac{U_1}{f_1} = konst. \quad (2.3)$$

Tato podmínka konstantního magnetického toku platí pro frekvence menší než 50 Hz, u vyšších frekvencí již nelze zachovat konstantní poměr  $U/f$ . Motor se může napětově zatěžovat pouze do určité hodnoty. Proto se pro frekvence vyšší než 50 Hz používá podmínka konstantního statorového napětí, kdy je konstantní výkon motoru. Pro tento případ platí:

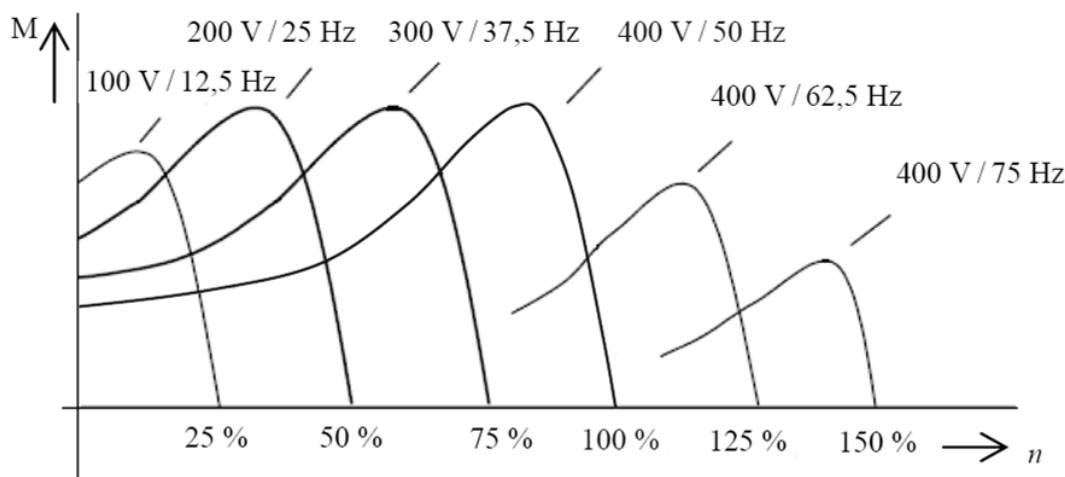
$$U_i = U_1 = k \cdot f_1 \cdot \Psi_1 \rightarrow \Psi_1 \approx \frac{1}{f_1} \quad (2.4)$$

Proud  $I_s$  je rovněž konstantní, z čehož vyplývá:

$$M = I_1 \cdot \Psi_1 \rightarrow M \approx \frac{1}{f_1} \quad (2.5)$$

$$P = U_1 \cdot I_1 = konst. \quad (2.6)$$

Tvar momentových charakteristik pro různé poměry  $U/f$  zůstává zachován, jediná změna je pouze ve vzájemném posunutí na základě velikosti frekvence. V oblastech nižších frekvencí dochází k poklesu momentu vlivem úbytku napětí na statorovém vinutí  $R_1$ . U vyšších frekvencí taktéž dochází k poklesu momentu motoru z důvodu podmínky  $U_1 = konst.$



Obrázek 2.1 – Momentové charakteristiky pro skalární řízení motoru  $U/f$  [1]

Skalární řízení lze realizovat napětovým nebo proudovým způsobem. Častěji se lze setkat s napětovým řízením, které obsahuje jednodušší algoritmus a má určité výhody u spínacích součástek. Ty jsou v tomto případě výkonnější a můžou se spínat vyšší frekvencí. Ve většině případů se používá skalární řízení v otevřené smyčce bez zpětné vazby [3], [4].

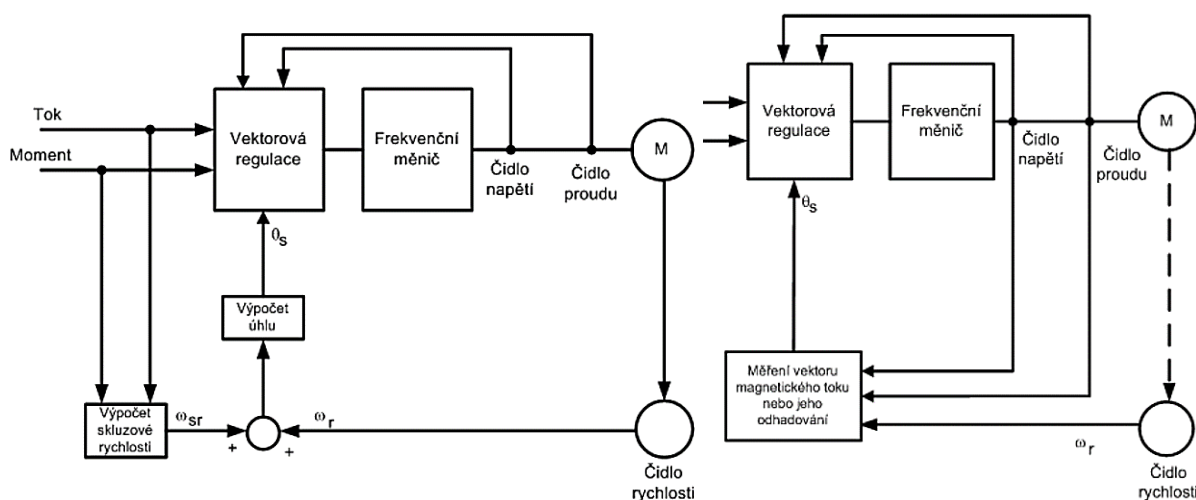
## 2.2 Vektorové řízení

Tato regulace vychází z matematického modelu popisujícího elektromagnetické a elektromechanické jevy ve stroji. Na základě tohoto modelu se efektivně regulují okamžité hodnoty proudů a toků v motoru včetně okamžité hodnoty momentu. Základní podmínka je oddělení regulačních

obvodů pro moment a magnetický tok z důvodu možného ovlivňování. V regulaci se musí vyhodnocovat kromě velikosti vektoru magnetického toku i poloha natočení vektoru.

V ustáleném stavu se zadávané hodnoty v řídicí struktuře jeví jako stejnosměrné, to umožňuje brát asynchronní pohon s vektorovým řízením jako stejnosměrný pohon s cizím buzením. U tohoto typu pohonu se dá nezávisle řídit jeho magnetický tok a moment.

Vektorové řízení asynchronního motoru spočívá na principu rozkladu prostorového vektoru proudu, který protéká státorem na dvě vzájemně kolmé složky v rotujícím souřadnicovém systému. Složky tohoto proudu určují magnetizaci motoru a jeho moment, to znamená, že souvisí s jalovým a činným výkonem. Magnetický tok ve vzduchové mezeře se dá získat pomocí přímého měření, nebo jej lze odhadnout ze statorového proudu a napětí. Vektorové řízení se dá rozdělit na přímé a nepřímé podle typu získávání informace o poloze vektoru magnetického toku.



Obrázek 2.2 – Blokové schéma přímé (vlevo) a nepřímé (vpravo) vektorové regulace [3]

U přímého řízení se vektor magnetického toku získává ze statorových napětí a proudů. Pokud je k dispozici matematický model pro výpočet skluzu, pak není potřeba dodatečného snímání otáček nebo polohy rotoru.

Nepřímé řízení pracuje na principu výpočtu magnetického toku z matematického modelu pro skluz a polohu rotoru. To znamená, že je nutné zvolit snímač otáček, který je zároveň využíván pro řízení otáček a polohy rotoru. Řízení otáček se může realizovat pomocí PI regulátoru stejně jako u skalárního řízení a pro řízení polohy se dá použít pouze P regulátor.

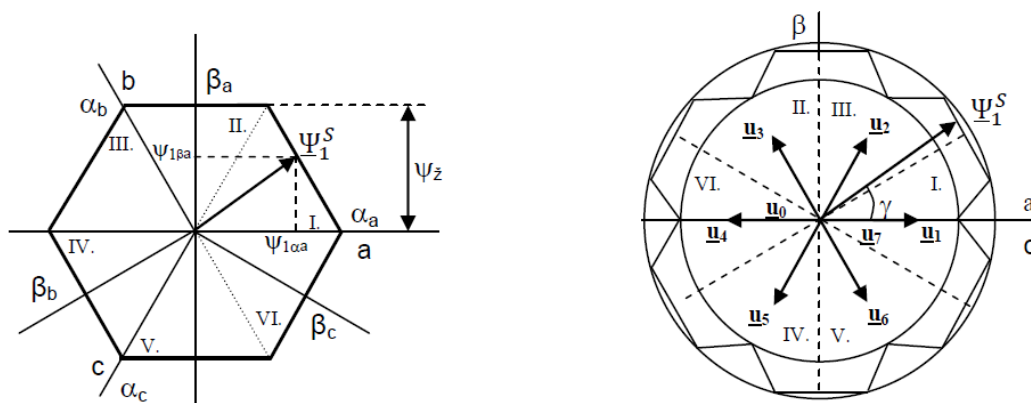
Za hlavní výhodu této metody oproti skalárnímu řízení jsou považovány lepší dynamické vlastnosti. Proto se tato regulace využívá většinou v aplikacích s vyššími nároky na přesné řízení otáček, kdy nedochází nebo jen částečně dochází k ustálenému stavu motoru [3], [4].

## 2.3 Regulace pomocí přímého řízení momentu

Tato metoda je založena na principu dvouhodnotové regulace statorového magnetického toku a dvouhodnotové regulace okamžité hodnoty momentu motoru. Magnetický tok se reguluje po předem zadané křivce a moment je regulován v regulačním pásu. Pro tyto regulace se používají hysterezní regulátory, ty zajišťují, že se skutečné hodnoty magnetického toku a momentu pohybují uvnitř hysterezního pásma. Řízení momentu probíhá přímo ve statorových souřadnicích. Moment motoru

vychází ze součinu vektoru magnetického toku statoru a rotoru. Při konstantní absolutní hodnotě statorového toku je moment úměrný velikosti statorového úhlu a rotorového magnetického toku. Spínáním vhodných kombinací spínacích prvků frekvenčního měniče se získávají napěťové vektory  $u_0$  až  $u_7$ . Vektory  $u_0$  a  $u_7$  jsou nazývány jako vektory nulové a absolutní hodnota vektorů  $u_1$  až  $u_6$  nabývá hodnoty  $2/3$  výstupního napětí usměrňovače.

Mezi nejznámější metody přímého řízení momentu motoru používané v praxi patří metoda Depenbrockova (viz. Obrázek 2.3 – vlevo), u které se trajektorie koncového bodu vektoru magnetického toku pohybuje po šestiúhelníku. Druhá metoda je Takahashiho (viz. Obrázek č.2.3 – vpravo), kdy se trajektorie koncového bodu pohybuje po mezikruží.



Obrázek 2.3 – Pohyb trajektorie koncového bodu vektoru magnetického toku [4]

Tato metoda je oproti vektorové regulaci výrazně jednodušší a umožňuje rovněž regulovat rychlé změny momentu. Hlavním požadavkem je přesný model řízeného motoru. Ten lze získat při prvotním identifikačním rozběhu. Při tomto rozběhu se získávají pomocí softwaru hlavní parametry modelu motoru. Nevýhodou jsou velké požadavky na řídicí procesor, pomocí běžného mikroprocesoru lze dosáhnout maximální spínací frekvence kolem 2 kHz. Pro vyšší spínací frekvence je nutné použít například signálové procesory [3], [4].

## 3 Možnosti ovládání frekvenčního měniče pomocí komunikační sběrnice

V závislosti na konkrétní řídicí jednotce existují různé typy komunikačních sběrnic a hardwarových zapojení, pomocí kterých můžeme daný frekvenční měnič ovládat. Ovládání měničů s použitím hardwarových prvků (tlačítka, spínací zařízení a převodníky signálů) připojených do digitálních a analogových vstupů se používá pro méně náročné aplikace. Proto se toto ovládání v posledních letech nahrazuje právě ovládáním pomocí komunikačních sběrnic. Ty umožňují přenášet procesní data ve formě telegramu. Komunikační sběrnice využívají standardizovaný profil PROFIdrive. Výchozí nastavení telegramu a komunikace probíhá při prvotním nastavení frekvenčního měniče.

U frekvenčních měničů Siemens, který byl v projektu použit, se lze nejčastěji setkat s komunikační sběrnici typu Profinet nebo Profibus. V tomto případě se jednalo o frekvenční měnič, který měl řídicí jednotku vybavenou rozhraním Profinet. Tomu byl následně přizpůsoben výběr ostatních komponent jako je například PLC a HMI. Jednotlivá zařízení spolu mohou komunikovat po jedné komunikační sběrnici a není nutné používat doplňkové převodníky.

### 3.1 Profinet

Profinet je nejrozšířenější standard průmyslového Ethernetu a lze jej využít v průmyslovém prostředí, například pro řízení procesů v automatizaci. Ethernet využívá technologie CSMA/CD a nedokáže tak zaručit deterministickou odezvu v reálném čase (RT), která se používá v průmyslových sběrnících. To je hlavní důvod, proč vznikaly další standardy průmyslového Ethernetu. Ty zaručují při použití různých mechanismů Real-Time chování sběrnice postavené na základu Ethernetu.

Mezi hlavní výhody takové průmyslové sběrnice založené na standardu Ethernet patří především velká přenosová rychlost (až 1 Gbit/s), možnost využití ve všech vrstvách komunikace a nízká cena s ohledem na rozšířenost v informačních technologiích.

Profinet je otevřený standard a je součástí mezinárodních elektrotechnických norem IEC 61784 a IEC 61158. Umožňuje komunikaci pomocí klasických TCP/IP a zároveň jej lze použít pro komunikaci v reálném čase (Real-Time). Právě tato vlastnost se využívá pro řízení pohybu v průmyslové automatizaci. Z tohoto důvodu se nejčastěji využívá komunikační model Profinet IO (Input/Output), který je přizpůsoben právě pro komunikaci v nejnižších procesních vrstvách systému. Zaručuje deterministickou odezvu v reálném čase a je specializován na rychlou výměnu dat mezi distribuovanými IO zařízeními. Profinet IO specifikuje komunikaci mezi řídicími členy (například PLC) a jednotlivými periferiemi (například frekvenční měnič) [7].

#### 3.1.1 Rozdělení Profinet na základě způsobu komunikace

Komunikační sběrnici Profinet lze rozdělit do tří základních typů. Jedná se o NRT (Non Real-Time), RT (Real-Time) a IRT (Isochronous Real-Time). Typ komunikace se volí na základě typu aplikace a její náročnosti na časovou odezvu.

NRT se nejčastěji využívá v acyklických aplikacích, kde nejsou velké nároky na časovou odezvu (parametrizace, vizualizace a konfigurace). V praxi lze tento typ použít pro acyklickou

komunikaci mezi PLC a měničem, kdy se při prvotním rozběhu nastaví parametry připojeného motoru k měniči. Tyto parametry se následně nemění a není nutné je přenášet v každém cyklu.

RT komunikace disponuje velmi krátkou dobou odezvy (jednotky ms). Pomocí RT komunikace se zajišťují přenosy dat, které jsou časově kritické a je nutné je přenést v garantovaném časovém úseku. Tento typ komunikace se používá například pro řízení pohonů dopravníků, u kterých nejsou tak náročné časové změny.

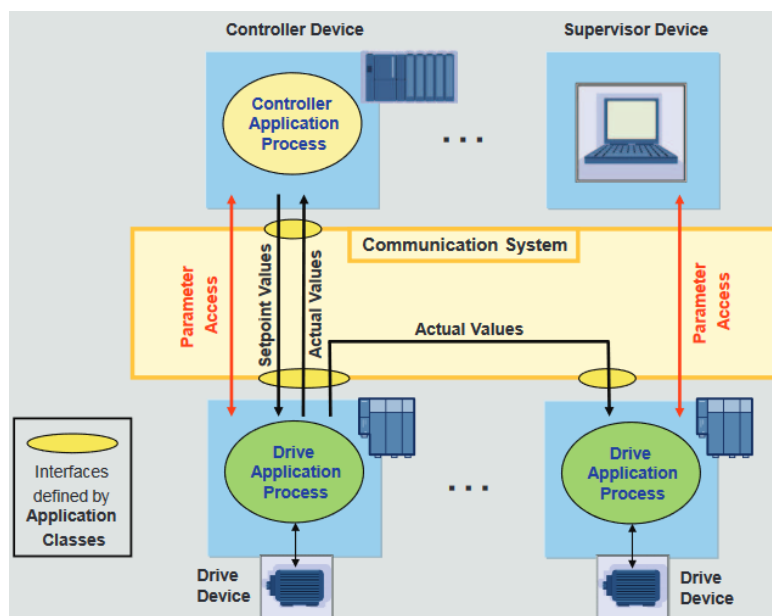
Pro oblast řízení pohonů se nejčastěji volí komunikace IRT. Tento způsob komunikace je založen na rozdělení komunikačního cyklu na deterministickou a otevřenou část. Časově kritická data se mohou přenášet v deterministickém kanálu. Lze ji použít v aplikacích s vysokou náročností na časovou odezvu, například u synchronizace více polohovacích systémů. Pomocí tohoto typu se dá dosáhnout doby odezvy v řádu stovek  $\mu$ s s odchylkou do 1  $\mu$ s [7].

## 3.2 PROFIdrive

Jedná se o standardizovaný profil dle standardu IEC 61800-7 - Generické rozhraní a použití profilů pro systémy výkonových pohonů, který slouží pro komunikaci se systémy elektrických pohonů. Pomocí PROFIdrive lze definovat chování a přístup k interním datům jednotlivých zařízení elektrických pohonů. Ty jsou propojené s řídicím zařízením pomocí komunikační sběrnice Profinet nebo Profibus.

### 3.2.1 Aplikační model

Při použití profilu PROFIdrive je možné přistupovat z řídicích a hlídacích zařízení k jednotlivým parametrům, zapisovat a vyčítat data z frekvenčního měniče. Zároveň je umožněno vzájemné sdílení aktuálních hodnot mezi skupinou měničů, to umožňuje rychlejší odezvu a regulaci příslušných motorů. Celou aplikaci pak lze monitorovat a konfigurovat z operátorských zařízení.



Obrázek 3.1 – Obecný aplikační model pohonu s použitím PROFIdrive [8]

Můžeme definovat tři základní typy procesů: První řídicí proces se nachází v měniči, tento způsob se nejčastěji používá u proudového řízení, řízení rychlosti nebo polohy motoru. Druhý řídicí proces je založen na principu řízení z PLC, s tím se můžeme nejčastěji setkat v aplikacích, kdy se

vypočítává žádaná hodnota rychlosti nebo polohy. Třetí řídicí systém se skládá z komunikace mezi PLC a měničem, zde se potřebná data přenáší pro oba řídicí procesy a závisí na zvoleném typu řízení [8].

### 3.2.2 Model parametrů PROFIdrive

Základem profilu PROFIdrive je model parametrů. Frekvenční měniče jsou uspořádány do funkčních bloků, kdy se jejich vstupy a výstupy definují pomocí parametrů. Parametr je každá proměnná nebo statická hodnota se kterou měnič pracuje a která ho zároveň charakterizuje (elektrické, mechanické, stavové, řídicí, komunikační a další hodnoty). Parametry 900-999 jsou rezervovány pro PROFIdrive a jsou to tzv. profilem specifikované hodnoty. Tento rozsah parametrů je pro každý měnič stejný bez závislosti na aplikační třídě. Ostatní parametry si udává výrobce a jejich seřazení se u různých typů frekvenčních měničů liší. Parametry označené jako rXXXX jsou určeny pouze pro čtení, zatímco do parametrů označených jako pXXXX lze zapisovat i číst. Jednotlivé parametry mají různou bitovou délku a můžou se vyjadřovat i různými datovými typy.

Model parametrů definuje frekvenční měnič jako komplexní soustavu parametrů, která musí mít jasně definovaný význam. Funkce měniče se definuje hodnotami a vzájemným propojením jednotlivých parametrů [8].

### 3.2.3 Základní způsoby komunikace PROFIdrive

Komunikace s frekvenčním měničem na základě PROFIdrive je prováděna prostřednictvím zápisu a čtení do vybraných parametrů, lze ji rozdělit do dvou typů na tzv. cyklickou a acyklickou.

Při použití cyklické komunikace je možné využít tzv. standardní telegramy. Ty mají předem definované parametry, které jsou vyměňovány mezi frekvenčním měničem a řídicím zařízením. Pomocí standardních telegramů lze přistupovat pouze k vybranému množství parametrů. Tyto telegramy jsou vytvořeny tak, aby odpovídaly co největšímu množství průmyslových aplikací a bylo je možné použít ve většině případů. Pokud uživatel chce číst nebo zapisovat do parametrů, které nejsou ve standardních telegramech, může si definovat vlastní unikátní telegram. Ten se dá vytvořit současně s parametrizací měniče, kdy se jednotlivým slovům ve zprávě přiřadí požadované parametry. Cyklická komunikace se v praxi používá pro řízení pohonů v otevřené nebo uzavřené smyčce, kdy řídicí systém musí pracovat souvisle. Veškerá data, která si frekvenční měnič vyměňuje s řídicím zařízením, jsou přenášena cyklicky (například v 16-bitových slovech).

Acyklická komunikace přenáší cyklicky pouze procesní data (žádané a aktuální hodnoty) a data spojená s parametrizací měniče se zapisují pouze jednou, například při prvotním spuštění. Dále tento způsob komunikace obsahuje kanál alarmů pro diagnostiku a kvitování chybových stavů, kanál izochronních dat a hodinového signálu pro synchronizaci při použití izochronního přenosu dat [8].

### 3.2.4 Aplikační třídy frekvenčních měničů

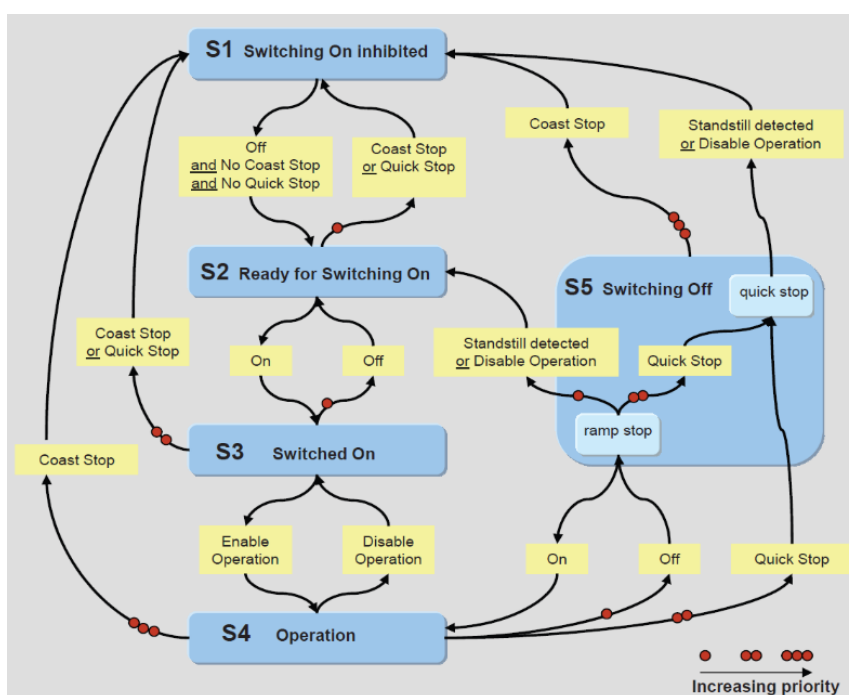
Způsob integrace pohonů s měničem do automatizace je závislý na aplikační třídě. Frekvenční měniče obsahují širokou škálu pokročilých funkcí, které lze provádět nezávisle na nadřazeném řídicím systému. PROFIdrive proto definuje základních šest aplikačních tříd, ty jsou určeny podle typu funkcí na digitálních výstupech měniče. Aplikační třídy nepřímo definují komunikaci mezi řídicím systémem a frekvenčním měničem. Pohon může spadat pod jednu nebo pod více aplikačních tříd. To umožňuje výrobcům flexibilně definovat a navrhovat produkty splňující konkrétní požadavky trhu.



Tabulka 3.1 – Aplikační třídy frekvenčních měničů dle PROFIdrive [8]

Třída	Význam	Popis
1	Standardní pohon	Řídicí systém zadává žádanou hodnotu otáček a otáčkové řízení je implementováno pohonem
2	Standardní pohon s přídatnou funkcí	Pohony zajišťují kromě otáčkového řízení i základní automatizační funkce
3	Polohovací řízení	Pohon navíc zajišťuje i polohové řízení na základě žádané hodnoty od řídicího systému.
4	Centrální polohové řízení	Pohon zajišťuje otáčkové řízení a řídicí systém polohové řízení. Nutná IRT komunikace.
5	Centrální otáčkové řízení	Pohon zajišťuje polohové řízení a řídicí systém otáčkové řízení. Nutná IRT komunikace.
6	Decentrální řízení	Komunikace probíhá mezi jednotlivými pohony. Používá se například pro elektronické vačky.

Všechny uvedené aplikační třídy definují komunikaci mezi řídicím PLC a frekvenčním měničem. Pro aplikační třídy platí jeden stavový diagram, který je vyobrazen na obrázku 3.2. Stavový diagram definuje všechny stavy daného měniče a přechody mezi nimi. Pomocí tohoto diagramu se postupuje při návrhu řízení měniče. Mezi důležité stavy patří zejména spouštění aplikace, kvitování poruch a alarmů a následné opětovné spuštění pohonu a celé technologie. Žlutou barvou jsou označeny řídicí signály z nadřazených řídicích zařízení (nejčastěji PLC). Tato řídicí zařízení umožňují ovládání přechodů mezi jednotlivými stavy S1 až S5. Červená kolečka na černých přechodech definují prioritu přechodu. Priorita se uplatňuje tehdy, když jsou splněny podmínky pro dva různé přechody. Přechod s větším počtem koleček a s větší prioritou se provede primárně před ostatními přechody s nižší prioritou [8].



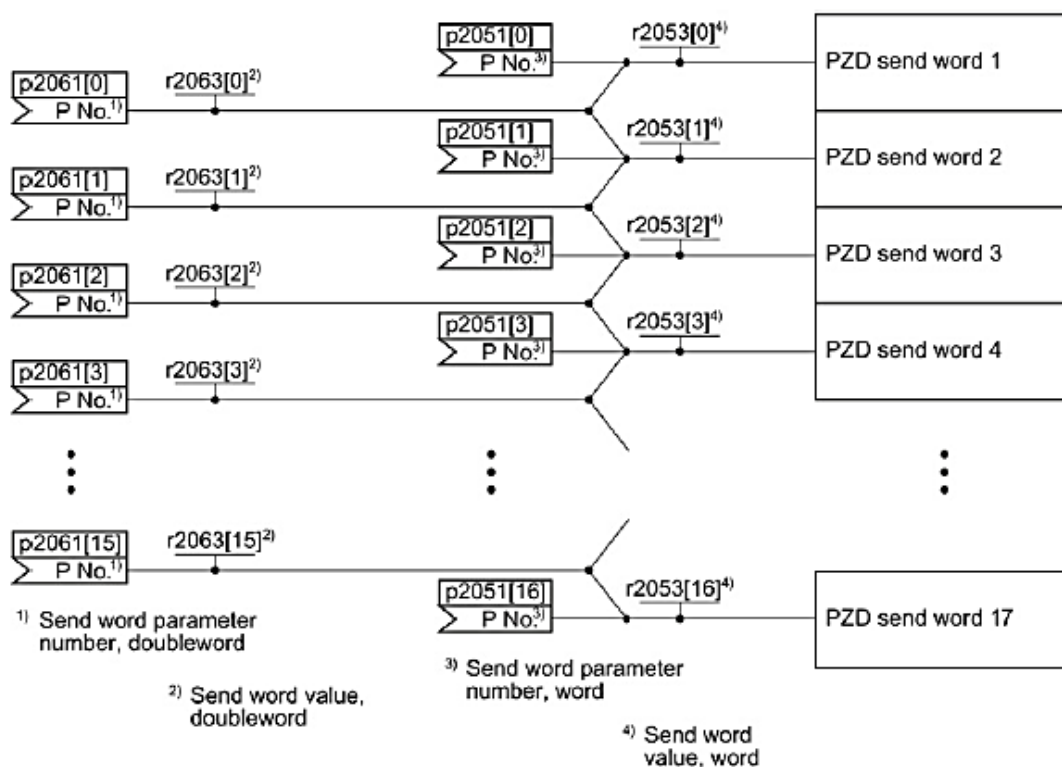
Obrázek 3.2 – Základní stavový diagram řízení pohonu [8]

### 3.3 Telegram

Telegram slouží pro výměnu dat mezi řídicí jednotkou a měničem. Každý výrobce disponuje vlastním systémem telegramu. Společný základ telegramu s parametry 900-999 je rezervován pro PROFIdrive a jsou to tzv. profilem specifikované hodnoty.

#### 3.3.1 Popis Siemens telegramu

V Siemens telegramu jsou uložena data v 16-bitových slovech (dále jen PZD), ty se cyklicky vyměňují mezi řídicím zařízením a měničem. Do jednotlivých PZD se můžou ukládat přímo parametry, které ovládají měnič nebo interní data vyčítaná z měniče. Mezi ty patří například výkony, napětí, proudy, teploty, rychlost, moment, případně data odpovídající chybové hlášce, poruše nebo alarmu.



Obrázek 3.3 – Princip zápisu jednotlivých dat parametrů do 16 řídicích slov (PZD) [9]

Základem každého telegramu je Control Word (dále jen STW1) a Status Word (dále jen ZSW1). Control Word je řídicí slovo, ve kterém jsou uloženy příkazy a uvolnění pro parametry obsluhovaného frekvenčního měniče. Frekvenční měniče Siemens jsou po zapnutí uvedeny do klidového režimu a je nutné je pomocí vhodné konfigurace STW1 uvolnit (bit 3) tak, aby mohly vykonávat a odpovídat na pokyny aplikace. Do řídicího slova STW1 se můžou uložit bity, které budou provádět například funkci bezpečnostního zastavení, povolení spuštění, generátory rampy, justaci otáček, reset chyby, potvrzení zda je měnič ovládán pomocí PLC a další. Data z řídicích slov se následně zapisují na předem definovaná místa do jednotlivých parametrů. Stavové slovo ZSW1 udává aktuální stav měniče. Lze pomocí jednotlivých bitů vyčíst, zda se měnič nachází v chybě, je zastaven pomocí konkrétního vypnutí nebo signalizuje alarm. Nastavení řídicího slova STW1 a stavového slova ZSW1 probíhá při uvádění měniče do provozu a závisí na požadavcích aplikace.

Měniče Siemens umožňují vybrat si z předem předvolených telegramů nebo si uživatel může vytvořit vlastní unikátní telegram. Výchozí telegramy se dělí na tzv. standardní, ty dovolují pouze nastavení otáček a vyčítání základních parametrů z měniče. Jedná se o telegramy 1 (PZD-2/2) a 20 (PZD-2/6). Do další kategorie patří Siemens telegramy, které jsou rozšířené a umožňují vyčítání a zapisování většího množství dat do měniče. Jako příklad lze uvést telegram Siemens 352 (PZD-6/6) [9].

Telegram 20

PZD01	PZD02	PZD03	PZD04	PZD05	PZD06
STW1	NSOLL_A				
ZSW1	NIST_A GLATT	IAIST_ GLATT	MIST_ GLATT	PIST_ GLATT	MELD_ NAMUR

Obrázek 3.4 – Stavba standardního telegramu 20 [9]

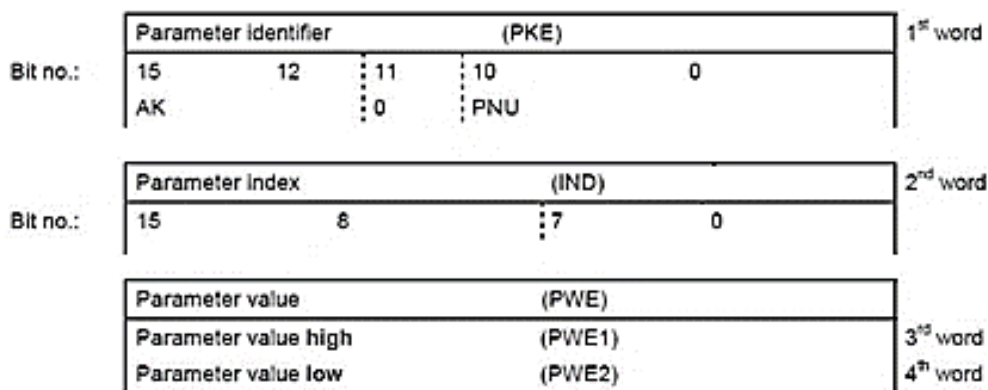
**Kde:** PZD01-17 – Process Data – zpracovávaná data

STW1 – Control Word – řídicí slovo

ZSW1 – Status Word – stavové slovo

### 3.3.2 Datová struktura kanálu parametru

Datový kanál parametru, pomocí kterého jsou vytvořené funkce v telegramu, se vždy skládá ze čtyř slov. První a druhé slovo přenášejí číslo, index a typ úlohy (zápis nebo čtení) parametru. Třetí a čtvrté slovo přenáší obsah daného parametru. Obsahem bývají nejčastěji 16-bitové hodnoty (například zadání rychlosti, změna frekvence, a další) [9].



Obrázek 3.5 – Struktura datového kanálu [9]

**Kde:** PKE – Parameter identifier – identifikátor parametru

IND – Parameter index – index parametru

PWE – Parameter value – hodnota parametru

Příklad datové struktury si lze vysvětlit na jednoduchém příkladu, který byl v projektu použit. Konkrétně bylo vybráno ovládání funkce ON/OFF1 pomocí řídicího slova PZD1 (STW1) v telegramu přes PROFIdrive. Pokud se má propojit bit 0 z řídicího slova PROFIdrive PZD1 (r2090.0) s funkcí ON/OFF1, musí se mu přiřadit hodnota parametru, která v tomto případě odpovídá ON/OFF1 = p0840.

V prvním slově identifikátoru parametru PKE se vyplní jednotlivé hodnoty bitů podle funkce, která se pomocí daného bitu v řídícím slově provede. Pro PZD1: bit 0 = ON/OFF1 je nutné nastavit změnu parametru AK = 7hex a číslo parametru ON/OFF1 (840 = 348hex).

Druhé slovo obsahuje index parametru IND a je potřeba jej vyplnit pro Subindex hodnotou 1hex, ta znamená přenos dat pomocí telegramu. Další část Page index odpovídá stránkovému offsetu, ten se v tomto případě nepoužívá, a proto se vyplní hodnotou 0hex.

Další dvě slova obsahují hodnoty parametru PWE. Ty se vždy přenáší jako dvojité slova (32-bitů). V telegramu Siemens lze přenášet pouze jednu hodnotu parametru najednou. Proto 32-bitová hodnota parametru obsahuje PWE1 (slovo vyššího řádu, 3. slovo) a PWE2 (slovo nižšího řádu, 4. slovo). První slovo PWE1 obsahuje hodnotu parametru, v tomto případě se jedná o ovládání pomocí řídícího slova PZD1 a nastaví se jako PZD1 = 2090 = 82Ahex. Druhé slovo PWE2 definuje typ frekvenčního měniče a index parametru. Ve vytvořené aplikaci byl použit frekvenční měnič G120C, který odpovídá hodnotě G120C = 63 = 3Fhex. Má-li se ovládat funkce ON/OFF1 pomocí bitu 0 v řídícím slově PZD1 je potřeba do Indexu zapsat hodnotu odpovídající tomuto bitu, tj. bit 0 = 0 = 0hex.

Tabulka 3.2 – Rozložení dat v kanálu parametru v řídícím slově PZD1: bit 0 = ON/OFF1

Parameter channel			Bit	DEC	HEX
Word 1	PKE	AK	12...15	7	7
		Parameter number	0...10	840	348
Word 2	IND	Subindex	8...15	1	1
		Page index	0...7	0	0
Word 3	PWE1	Parameter value	0...15	2090	82A
Word 4	PWE2	Drive object	10...15	63	3F
		Index	0...9	0	0

**Kde:** PKE – Parameter identifier – identifikátor parametru

IND – Parameter index – index parametru

PWE – Parameter value – hodnota parametru

Pokud se datový kanál parametru nastaví podle popsaného příkladu a přivede se na bit 0 v řídícím slově PZD1 logická 1 provede se operace ON/OFF1.

## 4 Možnosti ovládání elektrického pohonu s frekvenčním měničem

### 4.1 Možnosti ovládání pomocí HMI panelu

Ovládací panely HMI (Human–Machine Interface) jsou jedním z uživatelsky přívětivých rozhraní mezi člověkem a strojem. Optimální interakce mezi strojem a operátorem výrazně přispívá zejména na produktivitu, účinnost a použitelnost. Tyto parametry v provozu znamenají ekonomické i technické úspory, mezi které patří větší úspora provozních nákladů a času jednotlivých operátorů výroby. Panely usnadňují práci kdekoliv, kde lidé musí spolupracovat se stroji a technologií. HMI panely jsou řešení, které je flexibilní a zároveň může být integrováno do komunikačních sítí, kde plní požadavky na transparentnost a poskytování potřebných dat. V projektu byl použit ovládací panel HMI od společnosti Siemens, konkrétně se jedná o panel TP700 Comfort. Siemens nabízí celou řadu HMI ovládacích panelů v řadách SIMATIC Basic a Comfort [10].



Obrázek 4.1 – Ukázka použitého ovládacího panelu SIMATIC HMI TP700 [10]

#### 4.1.1 SIMATIC HMI Basic

Tyto ovládací panely disponují základními funkcemi HMI panelů a nabízí se jako ideální řešení pro celou řadu jednoduchých aplikací. Uživatelské rozhraní otevírá širokou škálu operací se zlepšenou použitelností prostřednictvím ovládacích prvků a grafiky. K panelům lze připojit pomocí USB rozhraní například skener, klávesnici, myš nebo čtečku čárových kódů. Mezi hlavní výhody SIMATIC HMI panelů patří možnost archivace dat na USB flash disk [10].

#### 4.1.2 SIMATIC HMI Comfort

Jedná se o pokročilejší úroveň operátorského zařízení pro sofistikované aplikace. Panely jsou navrženy tak, aby plně vyhovovaly implementaci vysoce výkonných vizualizačních aplikací na strojové úrovni. Vyšší výkon, funkčnost a integrovaná rozhraní nabízí největší uživatelské pohodlí. Oproti základním ovládacím panelům nabízí stupeň krytí IP65. To znamená, že zařízení je prachotěsné a odolné proti tryskající vodě při tlaku 30 kN/m<sup>2</sup> po dobu nejméně 3 minuty ze vzdálenosti 3 metrů.

V této řadě se nabízí plně stmívatelné displeje s velikostí od 4“ do 22“. Velkou výhodou těchto panelů je integrovaná systémová karta pro automatické zálohování dat a uchování nahrané vizualizace

při možném výpadku elektrické energie. Panely jsou přizpůsobeny pro komunikaci s nadřazenými PLC automaty pomocí komunikačního rozhraní Profinet/Ethernet [10].

### 4.1.3 Použitý panel SIMATIC HMI TP700 Comfort

Pro zobrazení řídicí aplikace byl zvolen ovládací panel SIMATIC HMI Comfort (Obrázek 4.1) s katalogovým číslem 6AV2124-0GC01-0AX0. Tento univerzální ovládací HMI panel lze připojit do komunikační sběrnice Profinet a Profibus. Na panelu jsou proto osazeny dva průmyslové konektory Ethernet pro připojení do komunikační sběrnice Profinet a jeden 9 pinový D-SUB konektor pro použití v komunikační sběrnici Profibus.

HMI panel obsahuje operační systém Windows CE 6.0, na kterém běží nastavba ve formě řídicí aplikace v prostředí WinCC V14. Ovládací panel neobsahuje žádná funkční hardwarová tlačítka a jeho ovládání probíhá přes dotykovou obrazovku o velikosti 7“ a grafickým rozlišením 800x480 pixelů.

Napájení HMI panelu je pomocí stejnosměrných 24 VDC, a to v přípustném rozsahu od 19,2 do 28,8 VDC. HMI panel lze napájet ze stejného 24 VDC zdroje jako řídicí PLC nebo samostatnou jednotku měniče. Celý systém je pak možné chránit před výpadkem napájení například pomocí záložního zdroje UPS.

Zálohování dat z HMI panelu a zabezpečení bezpečnosti aplikace může být docíleno například zálohováním na paměťová média. Ty se můžou připojit přes dvojici USB 2.0 konektorů a nebo pomocí dvou slotů na SD karty. Řídicí aplikaci lze nahrát a zálohovat na paměťová média, která můžou zároveň sloužit i pro ukládání procesních dat vyčítaných z panelu.

Stupeň ochrany krytem IP65 umožňuje montáž do panelu. Z toho důvodu je možné panel osadit například do dveří rozvaděče, ve kterém se nachází frekvenční měnič s řídicím PLC a nebo do ovládacího pultu v místě pracoviště obsluhy. Obsluze konkrétního účelového zařízení je pak umožněno pomocí panelu řídit a dohlížet na nastavení procesních dat v dané aplikaci.

## 4.2 Komunikace HMI – PLC – frekvenční měnič

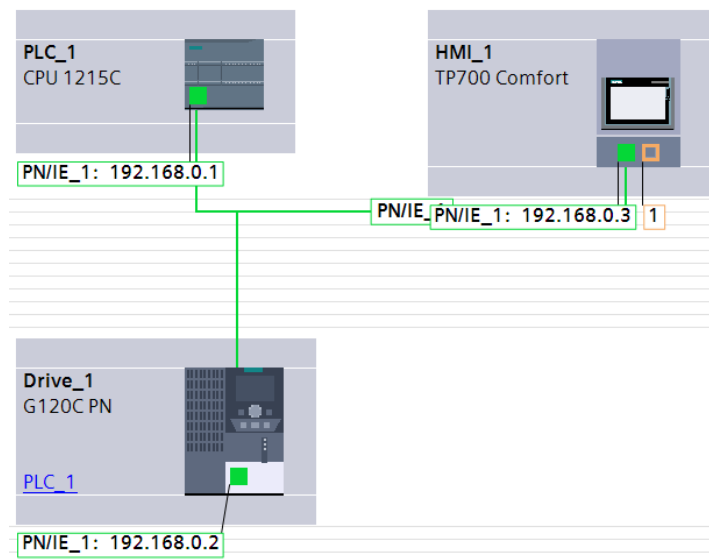
Většina aplikací v průmyslu nejčastěji využívá kombinace, kdy programovatelný logický automat pracuje jako nadřazený řídicí systém. PLC ovládá podružná zařízení jako například ovládací panel HMI nebo měnič, ke kterému je připojený elektrický motor. Vstupní informace do PLC můžou být přiváděny pomocí hardwarových prvků nebo jsou vyčítány z komunikace panelu HMI. Komunikace mezi jednotlivými zařízeními pak probíhá po komunikační sběrnici, v tomto případě se jedná o síť Profinet. Každé připojené zařízení do sítě Profinet disponuje pevnou charakteristickou IP adresou nastavenou u prvotní parametrizace. Pomocí Profinetu se přenáší řídicí telegram, ve kterém jsou uloženy řídicí slova a parametry měniče. Parametry elektrického motoru spolu s rampami se nastavují ve frekvenčním měniči, který v dané aplikaci představuje pouze mezipřevodník a následně se ovládá z nadřazeného PLC. Řídicí rampy lze nastavit i pomocí PLC, kdy se frekvenční měnič využívá pouze pro elektrické řízení motoru. Tyto principy zapojení a ovládání frekvenčních měničů jsou v praxi nejpoužívanější z důvodů ovládání většiny technologií z hlavní počítačové aplikace nebo vizualizace.

### 4.2.1 Struktura komunikace

V aplikaci je zvolen postup, kdy byla v řídicím programu PLC naprogramována komunikace s HMI a frekvenčním měničem, nastaveny procesní hodnoty frekvenčního měniče a probíhá zde

zpracování zpětných vazeb od připojených zařízení. Vizualizace se nachází v ovládacím panelu HMI. Pro přenos dat se používá cyklická komunikace, řídicí systém (PLC) pracuje kontinuálně a data (žádané hodnoty, akční veličiny, měřené výstupní veličiny) se přenáší cyklicky nezávisle na způsobu řízení.

Komunikace mezi jednotlivými zařízeními probíhá po komunikační sběrnici Profinet. Každé zařízení obsahuje předem předdefinovanou IP adresu. Ta umožňuje zařízením v komunikační síti 192.168.0.X komunikovat mezi sebou a vyměňovat si požadované informace.



Obrázek 4.2 – Síťové schéma pro ovládání aplikace s frekvenčním měničem

Maximální přenosová rychlost PLC je 100 Mbit/s. To znamená, že tento typ programovatelného logického automatu lze použít pouze pro způsob komunikace Profinet RT a neumožňuje tak izochronní komunikaci Profinet IRT. V oblasti řízení pohonů se může tento typ PLC využít například pro aplikace ovládání dopravníků, kde nejsou vysoké nároky na časové změny.

### 4.2.2 Použité PLC SIMATIC S7-1200, CPU 1215C DC/DC/DC

Jako řídicí zařízení, na kterém je nahráný celý systém aplikace, bylo vybráno PLC s katalogovým číslem 6ES7215-1AG40-0XB0. V PLC je uložen kompletní řídicí program měniče, který spolupracuje s vizualizací v panelu HMI. PLC tedy zpracovává zpětné vazby z připojených zařízení a stará se o správný chod aplikace na základě předdefinovaných parametrů a spojitostí v programu.

Toto PLC bylo zvoleno z důvodu možnosti propojení celého systému řízení pohonu přes sběrnici Profinet. V samostatné síti (192.168.0.X) je připojena sestava HMI-PLC-frekvenční měnič. Programování celé sestavy se dá jednoduše provést přes PC s TIAportalem s verzí V14 a vyšší.

PLC nabízí pracovní paměť o velikosti 4 MB, která plně dostačuje i pro rozsáhlejší aplikace. Pokud by bylo potřeba do PLC nahrát větší množství dat, lze paměť rozšířit pomocí paměťové karty SIMATIC. PLC obsahuje 14 digitálních vstupů (24 VDC), 10 digitálních výstupů (24VDC, 0,5 A), 2 analogové vstupy (0-10 VDC), 2 analogové výstupy (20 mA DC) a lze jej napájet pomocí stejnosměrného 24 VDC zdroje s pracovním rozsahem 20,4-28,8 VDC. Tyto vstupy a výstupy nejsou v projektu použity z důvodů ovládání pohonu přes dotykový panel HMI. Bez panelu HMI by se dal pohon ovládat právě pomocí těchto vstupů a výstupů, ke kterým by byly připojeny další hardwarové prvky (tlačítka, signálky, spínací zařízení a převodníky signálů).



### 4.3 Frekvenční měnič SINAMICS G120C

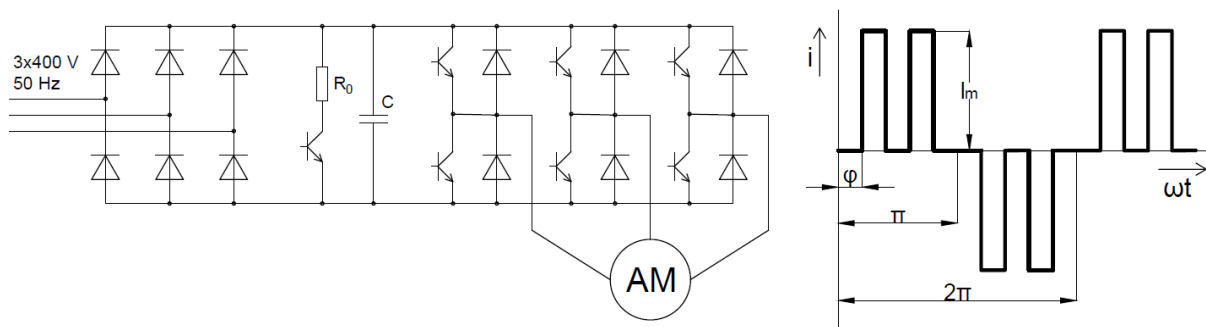
Frekvenční měniče SINAMICS G120C patří do konstrukční řady energeticky úsporných frekvenčních měničů pro řízení otáček třífázových elektromotorů. Tento typ frekvenčních měničů byl speciálně navržen pro výrobce jednoúčelových strojů, kde je vyžadováno použít ekonomický a snadno ovladatelný měnič. Měniče této řady jsou charakteristické svojí kompaktností, rychlou instalací a rychlým uvedením do provozu. Tato řada nabízí širokou škálu konstrukčních velikostí, které pokrývají výkonový rozsah od 0,55 do 132 kW.



Obrázek 4.3 – Ukázka frekvenčních měničů SINAMICS G120C v provedení FSAA až FSF [11]

#### 4.3.1 Technické parametry použitého měniče SINAMICS G120C

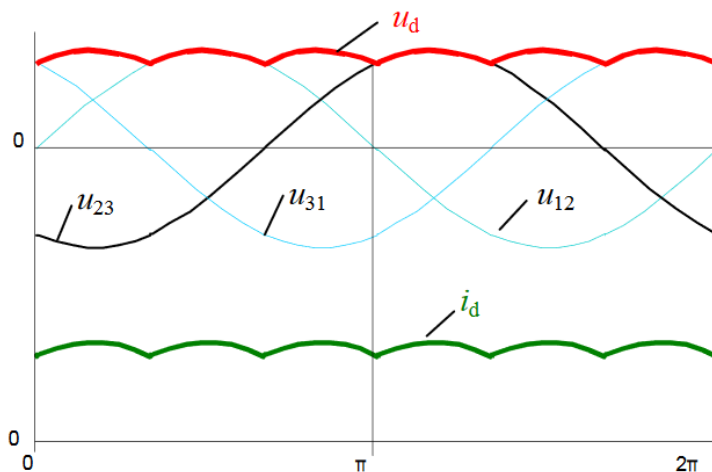
Pro vybranou aplikaci byl použit frekvenční měnič od společnosti Siemens s katalogovým označením 6SL3210-1KE21-7AF1. Jedná se o měnič s komunikačním rozhraním Profinet, který umožňuje řídit elektromotor pomocí změny frekvence a výstupního napětí  $U/f$  (skalární řízení). Jednotka obsahuje integrovaný měřič spotřeby energie s rozdělením na čas, kdy běží motor nebo měnič. Měnič umožňuje plné využití bezpečnostních funkcí STO (bezpečné zastavení točivého momentu) a integraci brzdě jednotky. Měnič se dá parametrizovat pomocí BOP-2 (Základní Operátorský Panel-2), IOP (Inteligentní Operátorský Panel) nebo přes propojení s PC (USB port). Na jednotku o jmenovitém výstupním výkonu 7,5 kW a jmenovitém výstupním proudu 16,5 A lze přivést třífázové napájecí napětí v rozsahu od 380 do 480 V. Frekvenční měnič obsahuje integrovaný síťový filtr třídy A pro instalace kategorie C2 v souladu s ČSN EN 61800-3 ed.2 - Systémy elektrických výkonových pohonů s nastavitelnou rychlostí - Část 3: Požadavky EMC a specifické zkušební metody.



Obrázek 4.4 – Principiální provedení měniče G120C s idealizovaným odebíraným proudem [6]



Vstupní část frekvenčního měniče G120C je konstrukčně provedena pomocí třífázového, neřízeného šesti pulzního usměrňovače. U tohoto typu usměrňovače napětí v jednotlivých fázích vždy působí na dvojici polovodičových ventilů (diody), které tvoří jednu větev usměrňovače. Vstupní proud ve fázích prochází oběma směry. Proud v obvodu usměrňovače pak prochází vždy dvojicí ventilů, na kterých je největší napětí. Každý ventil povede za dobu jedné periody proud v intervalu  $120^\circ$  a dvojice v intervalu  $60^\circ$ .



Obrázek 4.5 – Průběh idealizovaného proudu a napětí za usměrňovačem [6]

Jelikož se jedná o měnič s napěťovým střídačem, je meziobvod tvořen kondenzátorem, který lze považovat za zátěž pro usměrňovač a zároveň i jako zdroj pro napěťový střídač. Pokud se připojený motor dostane do generátorického režimu, vrací energii zpět do měniče. Díky tomu je nutné meziobvod vybavit brzdou jednotkou. Brzdá jednotka složená z tranzistoru a rezistoru udržuje napětí v meziobvodu na nastavené hodnotě pomocí pulzního připojování brzdného rezistoru. Přebytečná energie se tak může mařit v brzdě odporu, nikoliv v kondenzátoru meziobvodu. Tím se kondenzátor meziobvodu ochrání před nedovoleným přetěžováním a nedochází tak k jeho rychlému stárnutí.

Výstupní část je tvořena napěťovým střídačem, který usměrněné napětí z meziobvodu následně rozstřídá s požadovanou frekvencí na připojený motor. Napěťový střídač se skládá z tranzistorů a ochranných zpětných diod. Střídač je provozován s proměnným úhlem sepnutí tranzistorových spínačů. Velikost spínacího úhlu se řídí napětím na motoru. Zpětné diody tvoří jako celek neřízený usměrňovač a slouží pro přenos činné energie z motoru do meziobvodu. Tato energie se následně maří v brzdě odporu meziobvodu. Díky zpětným diodám nejsou zpětnou energií přetěžovány spínací tranzistory [11].

#### 4.3.2 Hardwarové ovládání frekvenčního měniče

Většina frekvenčních měničů obsahuje určitý počet digitálních nebo analogových vstupů a výstupů, pomocí kterých lze ovládat základní operace jako je například zapínání/vypínání, signalizace, analogové řízení rychlosti, spínání digitálních výstupů nebo reakce na digitální vstupy. Hardwarové vstupy a výstupy se dají zároveň parametrizovat pro použití v bezpečnostních funkcích a mohou být připojeny do bezpečnostních obvodů. Použitý frekvenční měnič G120C umožňuje pomocí vstupní svorkovnice přivést požadované vstupy a výstupy do řídicí jednotky.

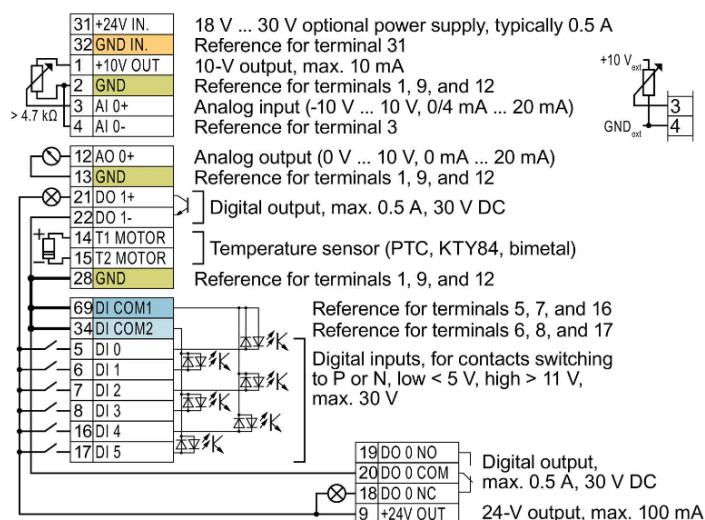
Digitální vstupy jsou osazeny tzv. optočleny, které slouží pro elektrické oddělení připojených signálů a digitálních vstupů PLC. Optočleny zabezpečují galvanické oddělení a skládají se z LED diody a fotocitlivé polovodičové součástky (např. fototranzistor). Pokud je na vstup přivedeno menší napětí než 5 V, PLC tento stav vyhodnocuje jako logickou 0. Přivedeme-li napětí větší než 11 V, digitální vstup se spíná a signalizuje logickou 1. Maximální možné napětí, které lze přivést na digitální vstupy je 30 V. Digitální vstupy se můžou při parametrizaci měniče přiřadit i pro plnění bezpečnostních funkcí jako například bezpečné vypnutí točivého momentu, zastavení, omezení rychlosti nebo změna směru.

Každý digitální výstup je osazen elektromechanickým relé, pomocí kterého se dají spínat zařízení se spínacím proudem do 0,5 A při stejnosměrném napětí 30 V. Obecně se doporučuje pomocí digitálních výstupů spínat cívky pomocných relé (např. elektromechanická nebo polovodičová relé). Ty následně spínají ovládací cívky spínacích prvků s vyšším odběrem (např. výkonová relé nebo stykače). Nedochází tak k nedovolenému namáhání digitálních výstupů a neobjevují se na nich spínací nebo vypínací přepětí.

Analogové vstupy jsou na použitém frekvenčním měniči provedeny v napětovém a proudovém provedení tj. 0...10 V a 0/4...20 mA. Tyto vstupy mají umožněné softwarové přepínání u parametrizace měniče a nebo je lze přepnout přes DIP switche na řídicí jednotce. Samotné ovládání funkce přiřazené k analogovému vstupu se dá realizovat pomocí analogového výstupu řídicího zařízení (např. PLC). Pro regulaci analogového vstupu se může využít i zapojení s potenciometrem. V tomto případě lze využít referenční výstup měniče nebo externí signál, který se přivádí přes potenciometr na zvolený analogový vstup. Pomocí analogového vstupu se může řídit například nastavení rychlosti připojeného motoru.

Z analogového výstupu se dá naopak získat zpětná vazba o měřených veličinách od měniče. Uživatel má možnost definovat výstupu například rychlost, moment, proud, napětí a další. Pomocí převodníku nebo analogového vstupu vyhodnocovacího zařízení lze tyto hodnoty zobrazovat například v aplikaci nebo na displeji.

Do svorkovnice použitého frekvenčního měniče se můžou připojit i výstupy z teplotních senzorů zabudovaných v motoru. Při překročení dovolené teploty pak měnič signalizuje chybu, případně připojený motor zastaví. Do řídicí jednotky lze připojit teplotní senzory typu PTC termistory, KTY84, PT1000 a bimetalové pásy [11].



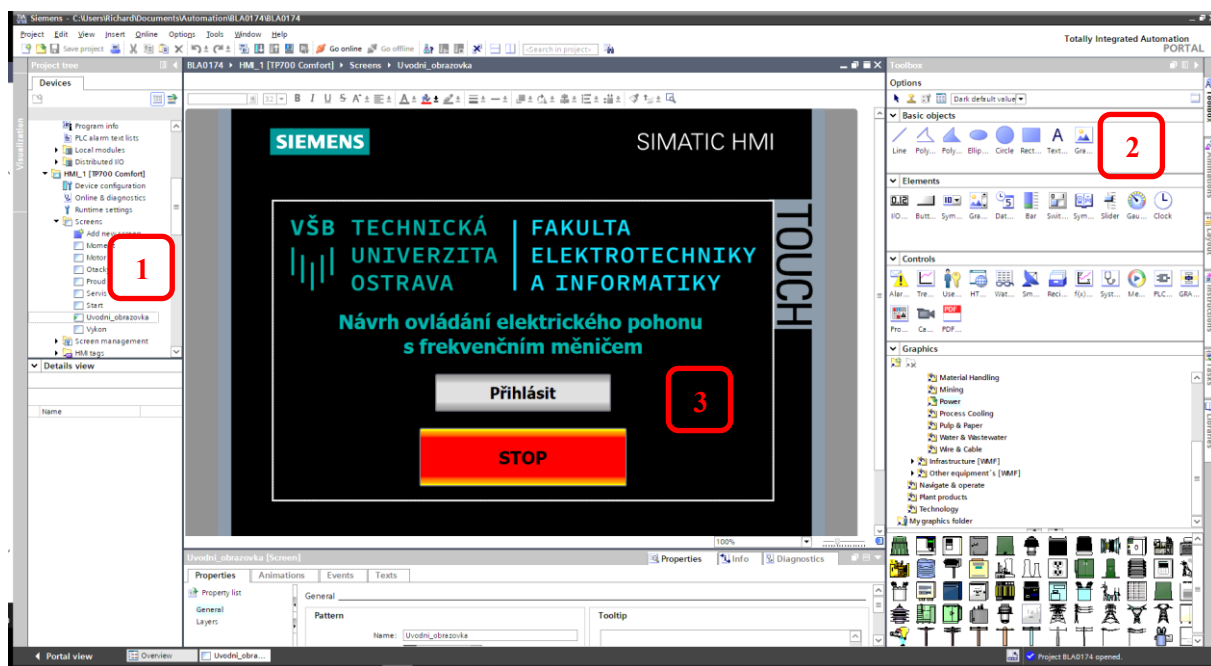
Obrázek 4.6 – Příklad hardwarového zapojení pro použitý měnič G120C [11]

## 5 Návrh ovládání elektrického pohonu s frekvenčním měničem

Vlastní návrh aplikace byl zpracováván a programován ve vývojovém prostředí TIA Portal V14 a jeho přídatných modulech. Pro parametrizaci frekvenčního měniče byl v prvotní fázi použit software STARTER a následně byl projekt převeden do modulu pro TIA Portal s názvem Startdrive V14. Vizualizace pro ovládání panelu HMI byla rovněž vytvořena v přídatném modulu TIA Portal s názvem WinCC V14. Záloha projektu vizualizace, parametrizace a řídicí aplikace vytvořená v softwaru TIA Portal je přiložená v části příloh s označením E008.

### 5.1 Návrh vizualizace HMI panelu

Pro návrh vlastní vizualizace byl zvolen software WinCC od společnosti Siemens, který lze implementovat do prostředí TIA Portal. V levé části vývojového prostředí se nachází samostatný panel pro orientaci v softwaru TIA Portal (1). Po pravé straně je umožněno uživateli používat širokou škálu předem předdefinovaných bloků (2), které jsou plně interaktivní s aplikací. Uprostřed hlavní obrazovky se nachází náhled na vytvářenou vizualizaci (3), jak lze vidět na obrázku 5.1.



Obrázek 5.1 – Ukázka vývojového prostředí WinCC V14 s náhledem úvodní obrazovky

#### 5.1.1 Popis vlastní vizualizace pro ovládání elektrického pohonu

Pro ovládání elektrického pohonu s frekvenčním měničem byla vytvořena vizualizace na dotykovém panelu HMI. Vizualizace slouží pro ovládání frekvenčního měniče, zobrazování grafů a zároveň obsahuje servisní panel síťového připojení a seznam uživatelů.

Vizualizace se skládá ze tří základních bloků. První blok úvodní obrazovky (Obrázek 5.1) slouží pro připojení do ovládací aplikace. Zde je uživateli dovoleno se přihlásit pod vlastním přihlašovacím

jménem a heslem. Na základě přihlašovacích údajů jsou mu přiřazena jednotlivá oprávnění. Úvodní stránka obsahuje i velké stop tlačítko, které slouží pro okamžité zastavení motoru s nulovou rampou.

Po přihlášení se uživatel dostane na obrazovku ovládacího panelu. Zde probíhá nastavení parametrů frekvenčního měniče pro definici chování připojeného motoru. Uživateli je umožněno uvést frekvenční měnič do režimu připravenosti (ON/OFF1). Tato funkce uvolní bezpečnostní požadavky před následným rozběhem, bez aktivace parametru ON/OFF1 nedovolí frekvenční měnič roztočit připojený motor. Pokud je připojený motor v chodu, opětovnou aktivací tohoto tlačítka se dostává motor po předem předvolené rampě na nulové otáčky a následně zastaví. Tlačítko RUN umožní roztočení připojeného motoru po předdefinované rampě. Pokud by bylo potřeba, aby se motor točil na druhou stranu, je možné tuto funkci aktivovat tlačítkem REVERSE, které provede operaci reverzace, tj. přehození sledu fází. V horní části panelu se nachází tlačítko RESET, to umožňuje kvitaci poruch a alarmů frekvenčního měniče. Tento stav může nastat například při přehřátí frekvenčního měniče nebo poklesu napájecího napětí, kdy měnič přestane pohánět připojený motor a signalizuje chybu. K jeho správné činnosti se musí zkontrolovat a napravit skutečnosti, které vedly k tomuto stavu. Jakmile jsou podmínky pro chod měniče obnoveny, je potřeba stisknout tlačítko RESET, které umožní jeho opětovné ovládání. Tlačítka STOP a OFF2 slouží pro funkce zastavení. Tlačítko STOP vyvolá ve frekvenčním měniči funkci OFF3, která se využívá pro nouzové zastavení s nulovou rampou. Tlačítko OFF2 se používá pro elektrické vypnutí připojeného motoru. Po použití této funkce se motoru vypne napájecí napětí a ten se svojí vlastní setrvačností zastaví. Vedle každého tlačítka se nachází indikační signálka, která je v případě jeho aktivace zelená, pokud je tlačítko neaktivní, signálka se zbarví výchozí šedou barvou.



Obrázek 5.2 – Náhled ovládacího panelu z vizualizace HMI

V pravé části ovládacího panelu je umožněno uživateli s příslušnými právy nastavit rychlost motoru, definovat čas rozběhové a doběhové rampy. Otáčky motoru lze zadat i záporné, to znamená že se motor bude točit jak u reverzace na druhou stranu. Z bezpečnostních důvodů byl rozsah otáček zvolen od -1500 do +1500 ot/min. Meze rychlosti otáčení se můžou jednoduše změnit v programu PLC.

Ruční ovládání může uživatel využít v případech, kdy je nutné s připojeným motorem najet do správné pozice, například při polohování případně připojené technologie nebo zařízení.

V dolní části se nachází ukazatele přiřazených proměnných daného pohonu. Uživateli je umožněno sledování aktuální rychlosti, momentu, napětí meziobvodu, výstupní frekvence, proudu, výkonu, teploty nebo frekvence připojeného motoru. Přiřazené proměnné jsou v ukazatelích vyjádřeny pomocí reálných hodnot s příslušnou veličinou. Přepočty z 16-bitových slov na reálné hodnoty jsou vytvořeny v programu řídicího PLC.

Nedílnou součástí vizualizace jsou i grafy měřených a vypočítaných veličin frekvenčního měniče. Uživatel si může v jednotlivých záložkách zobrazovat grafy pro otáčky, proud, moment, výkon a poměr veličin skalárního řízení ( $U/f$ ). Časové vzorkování veličin v grafech bylo nastaveno na 1 vteřinu. Uživateli je proto nabídnuto sledování grafického zobrazení aktuálních stavů a průběhů vybraných veličin. Přepínání mezi grafy probíhá pomocí funkční lišty ve spodní části vizualizace.

Servisní panel se skládá ze dvou částí. Na levé straně byl umístěn seznam síťového připojení. Zde je možné si zobrazit správnost datového připojení, jednotlivé IP adresy, názvy zařízení a případné chybové hlásky připojení. V pravé části se nachází panel uživatelů. V seznamu byla přiřazena jména a hesla uživatelů. Uživatelé s úrovní zajištění administrátora můžou libovolně přidávat nebo odebírat uživatele.

Pro demonstrování funkčnosti systému uživatelů byly vytvořeny profily uživatelů Admin s přihlašovacím heslem 1111 a Obsluha s přihlašovacím heslem 0000. Admin disponuje právy, která umožňují provádět všechny operace a servisní zásahy ve vizualizaci ovládání vybraného pohonu. Uživateli Obsluha byla přiřazena práva pro zobrazování jednotlivých grafů a zastavení připojeného motoru, to znamená že je mu umožněno v servisním panelu aktivovat pouze tlačítka STOP a OFF2, která mají funkci zastavení. Pokud není přihlášený žádný uživatel, vizualizace se přepíná na úvodní obrazovku, kde se nachází možnost přihlášení a velké tlačítko STOP. Nouzové tlačítko STOP může stejně jako červené bezpečnostní tlačítko na dveřích rozvaděče aktivovat každý bez nutnosti ověření.

Na každé stránce vizualizace byla umístěna aktivní šablona, ve které bylo nastaveno výchozí prostředí tlačítek. Tato šablona se nachází na všech stránkách vizualizace, kromě stránky úvodní. V šabloně je možné kontrolovat aktuální datum a čas, provést odhlášení uživatele a zobrazit aktuálně přihlášeného uživatele. V dolní části se nachází výběr tlačítek pro přepínání mezi jednotlivými záložkami ovládacího panelu, grafů a servisního panelu.

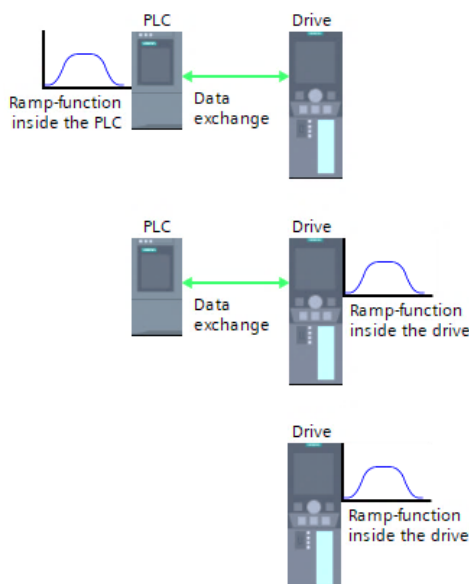
## 5.2 Parametrizace frekvenčního měniče SINAMICS G120C

Parametrizaci frekvenčního měniče G120C lze provést dvěma způsoby, a to buď pomocí ovládacích panelů, nebo softwarových nástrojů. Při prvotní parametrizaci a seznamování se s motorem a měničem byl použit software STARTER. Zde byly určeny hlavní parametry, vyzkoušena funkčnost parametrizace a proběhlo zde ověření správného chování pohonu. Pomocí těchto dat byla následně provedena parametrizace v softwaru TIAportal, konkrétně v jeho doplňujícím modulu Startdrive. Startdrive je obdoba softwaru STARTER, nachází se zde stejné funkce s odlišným grafickým zpracováním a s možností napojení na celkový projekt v TIAportalu. Při použití tohoto způsobu mohl být celý projekt pro ovládání pohonu zpracováván v jednom společném softwaru. To mělo za následek výraznou úsporu času při úpravách požadovaných parametrů a funkcí.

### 5.2.1 Uvádění pohonu do provozu

Při uvádění do provozu (tzv. Commissioning) se nastavují výchozí parametry motoru a měniče. Uživateli je umožněno parametry nastavovat ve třech základních režimech. První režim Expert umožňuje zadávání všech parametrů měniče nezávisle na typu použití. Další dva režimy Standart a Dynamic omezují některé parametry a soustředí se pouze na zvolený typ použití, uživatel se pak k některým parametrům těžko dostává.

V dalším kroku se volí typ ovládání měniče. Opět si lze vybrat ze tří typů podle toho, kde se nachází funkce rampy. První způsob, kdy se funkce rampy nachází v řídicím PLC je vhodný využívat v dynamických aplikacích. Programátorovi je pak dána větší možnost nastavovat řídicí struktury a smyčky. Měnič pak slouží pouze na přeměnu a úpravu napájecího napětí motoru. Druhý způsob, kdy se funkce rampy nachází v měniči, který se ovládá z řídicího PLC se využívá v jednodušších aplikacích. Tento způsob lze použít i pro dynamické aplikace, ale je nutné využít CFC editoru. Ten umožňuje vytváření složitějšího řízení pomocí funkčních bloků přímo v měniči podobně jako v PLC. Třetí způsob se využívá v aplikacích, kdy měnič není ovládán z řídicího PLC a pracuje v konstantním režimu v souladu s mezinárodní klasifikací dle ČSN EN 60034-1 - Točivé elektrické stroje – Část 1: Jmenovité údaje a vlastnosti.



Obrázek 5.3 – Příklady ovládání frekvenčního měniče

V dalším kroku si lze nastavit typ řízení v otevřené/uzavřené smyčce podle zatěžovací charakteristiky a kontrolního úkolu měniče. Měnič G120C umožňuje pouze skalární řízení při zachování konstantního poměru  $U/f$ . Uživatel si může vybrat z předvolených řídicích charakteristik. Mezi ty patří charakteristiky lineární, parabolické nebo parametrizovatelné. Lze si zvolit i charakteristiky, při kterých je nutné precizní řízení frekvence například v textilním průmyslu.

V dalším kroku se zadávají štičkové údaje připojeného motoru k frekvenčnímu měniči. Převážně se jedná o jmenovité parametry motoru jako je například napětí, proud, výkon, účinník, frekvence, rychlost a typ chlazení. Dále je nutné zadat, zda je motor zapojen do hvězdy nebo do trojúhelníku.

Pomocí zadaných dat se vypočítá matematický model motoru. Ten nemusí vždy odpovídat skutečnosti, proto se doporučuje při prvotním rozběhu naprázdno provést identifikační rozběh,



kdy si měnič proměří připojený motor. Díky tomu si měnič vytvoří přesnější model připojeného motoru, pomocí kterého následně probíhá efektivnější řízení.

Select motor type  
[1] Induction motor

Select the connection type for your motor and 87 Hz operation:  
Star ☐ Motor 87 Hz operation

Motor data

Parameter	Parameter text	Value	Unit
p304[0]	Rated motor voltage	380	Vrms
p305[0]	Rated motor current	4.70	Arms
p307[0]	Rated motor power	2.20	kW
p308[0]	Rated motor power factor	0.880	
p310[0]	Rated motor frequency	50.00	Hz
p311[0]	Rated motor speed	2865.0	rpm
p335[0]	Motor cooling type	[0] Natural ve...	

Obrázek 5.4 – Zadávání jmenovitých parametrů připojeného motoru

Další mezikroky umožňují nastavení předvolených funkcí pro vstupy a výstupy měniče, připojení brzdě jednotky a filtru, volbu typu motoru IEC nebo NEMA a další.

V posledním kroku se nastavují důležité parametry měniče. Jedná se o jmenovitou a maximální rychlost, při které může být motor provozován při napájení z měniče. Nastavení proudového limitu a bezpečnostních ramp pro vypnutí.

Po zadání všech parametrů se zobrazí vyhodnocení, ve kterém je možno ověřit správnost zadaných dat a následně přejít k identifikačnímu rozběhu nebo další podrobnější parametrizaci.

### 5.2.2 Identifikační rozběh

Při identifikačním rozběhu motoru naprázdno probíhá stacionární měření připojeného motoru k měniči. Měření umožňuje zjištění doplňkových parametrů motoru. Díky tomuto měření lze vytvořit přesnější model motoru a následně jej pak řídit efektivněji. Doba měření závisí na velikosti motoru a pohybuje se v rozmezí od 0,3 s až po několik minut. Měnič si při tomto rozběhu měří odpory a indukčnosti vinutí, prahové napětí a dobu blokování ventilu pro kompenzace jednotlivých fází.

U výchozí parametrizace se v softwaru Startdrive vypočítají tyto parametry pomocí zadaných parametrů připojeného motoru a vytvoří se tak prvotní model motoru. Identifikační rozběh pak slouží pro zjištění přesnějších dat a vytvoření detailnějšího modelu motoru.

The following parameters are determined or changed with the motor data identification:			
Parameter	Parameter text	Value	Unit
p350[0]	Motor stator resistance cold	2.67306	ohm
p354[0]	Motor rotor resistance cold	1.49951	ohm
p356[0]	Motor stator leakage inductance	12.86468	mH
p358[0]	Motor rotor leakage inductance	13.30754	mH
p360[0]	Motor magnetizing inductance	386.57019	mH
p1825	Converter valve threshold voltage	1.0	Vrms
p1828	Compensation valve lockout time phase U	0.71	µs
p1829	Compensation valve lockout time phase V	0.71	µs
p1830	Compensation valve lockout time phase W	0.71	µs

Obrázek 5.5 – Původní vypočítané parametry motoru

The following parameters are determined or changed with the motor data identification:

Parameter	Parameter text	Value	Unit
p350[0]	Motor stator resistance cold	2.25074	ohm
p354[0]	Motor rotor resistance cold	1.66740	ohm
p356[0]	Motor stator leakage inductance	10.63426	mH
p358[0]	Motor rotor leakage inductance	10.99229	mH
p360[0]	Motor magnetizing inductance	326.49350	mH
p1825	Converter valve threshold voltage	0.9	Vrms
p1828	Compensation valve lockout time phase U	0.69	µs
p1829	Compensation valve lockout time phase V	0.69	µs
p1830	Compensation valve lockout time phase W	0.69	µs

Obrázek 5.6 – Výsledek identifikačního měření parametrů motoru

Z výsledků lze vyvodit rozdíly mezi vypočítanými a změřenými parametry. Rozdíly mohou být způsobeny odlišnou metodou zjišťování jednotlivých parametrů. Původní vypočítané parametry jsou získány z modelu motoru, který byl vytvořený na základě zadání jmenovitých parametrů. Při identifikačním měření se proměřuje kompletní trasa až po statorová vinutí připojeného motoru. Rozdíly vznikají například na základě přídavných odporů v trase (svorkovnice, kabel), nebo mohou být ovlivněny dalšími vnějšími vlivy (teplota, vlhkost, prašnost, koroze, a další). Proto se doporučuje provést identifikační stacionární měření motoru naprázdno při prvotní parametrizaci, a to konkrétně na místě, kde bude připojený motor provozován.

### 5.2.3 Návrh vlastního volného telegramu

Pomocí telegramu lze vyčítat a zapisovat data z nebo do obsluhovaného měniče. Do volného telegramu označeného jako 999 se můžou přidávat libovolně vybrané parametry. Uživateli je proto umožněno vytvořit si unikátní uspořádání telegramu pro vlastní aplikaci. Tato možnost byla využita i pro vlastní zpracování praktické části diplomové práce.

Telegram 999

PZD01	PZD02	PZD03	PZD04	PZD05	PZD06	PZD07	PZD08	PZD09	PZD10	PZD11	PZD12	PZD13 ... PZD17
STW1	Telegram length for the receive data											
ZSW1	Telegram length for the transmit data											

Obrázek 5.7 – Ukázka základu volného telegramu 999 [12]

**Kde:** PZD01-17 – Process Data – zpracovávaná data

STW1 – Control Word – řídicí slovo

ZSW1 – Status Word – stavové slovo

Základním stavebním kamenem každého telegramu je řídicí slovo STW1. Řídicí slovo obsahuje 16 bitů, ke kterým lze přiřadit jednotlivé parametry. Vhodnou kombinací bitů v řídicím slově lze ovládat frekvenční měnič a zapisovat do něj informace nutné k jeho správné funkci. Stavbu vytvořeného řídicího slova STW1 můžeme vidět v tabulce č.1. Kombinací jednotlivých bitů v řídicím slově lze vytvořit unikátní HEXa kód, ke kterému se přiřadí určitá funkce. V tomto případě bylo zvoleno řídicí slovo tak, aby se pomocí něj daly realizovat funkce ON/OFF1, Run, JOG1, JOG2, Reverzace, Potvrzení chyby, OFF3 a OFF2. Operátor elektrického pohonu ovládaného přes HMI nemusí vůbec znát detailnější nastavení měniče a stačí mu pro jeho ovládání pouze grafické rozhraní v panelu HMI. V programu PLC je jednotlivým grafickým tlačítkům z HMI přiřazena HEXa hodnota, která odpovídá předem určené funkci z tabulky č.1. Řídicí slovo spolu s celým telegramem se nastavuje do měniče při uvádění



do provozu. Programátorovi řídicího PLC jsou k dispozici hodnoty přiřazené jednotlivým funkcím a ty jsou následně vkládány do řídicí aplikace v PLC na základě požadavků průmyslové aplikace.

Tabulka 5.1 – Stavba vytvořeného řídicího slova STW1

Bit	Popis	ON/ OFF1	Run	JOG 1	JOG 2	Reverzace	Potvrzení chyby	OFF3 (0s rampa)	OFF2 (dojezd)
0	ON/OFF1	0	1	0	0	1	0	1	1
1	OFF2	1	1	1	1	1	1	1	0
2	OFF3	1	1	1	1	1	1	0	1
3	Povolení operace	1	1	1	1	1	1	1	1
4	Generátor rampy (povolit/zakázat)	1	1	1	1	1	1	1	1
5	Generátor rampy (start/stop)	1	1	1	1	1	1	1	1
6	Povolení žádané hodnoty	1	1	1	1	1	1	1	1
7	Potvrzení chyby	0	0	0	0	0	1	0	0
8	JOG 1 (+150rpm)	0	0	1	0	0	0	0	0
9	JOG 2 (-150rpm)	0	0	0	1	0	0	0	0
10	PLC řízení	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Reverzace žádané hodnoty	0	0	0	0	1	0	0	0
12	Není použito	0	0	0	0	0	0	0	0
13	Motor. potenciometr NAHORU	0	0	0	0	0	0	0	0
14	Motor. potenciometr DOLŮ	0	0	0	0	0	0	0	0
15	CDS bit 0	0	0	0	0	0	0	0	0
	HEXa kód (16#)	47E	47F	57E	67E	C7F	4FE	47B	47D

V telegramu se cyklicky přenáší slova z přijímací a vysílací části. V tomto případě byl využit volný telegram 999, který je definován pro 4 slova přijímací části a 10 slov v části vysílací. V přijímací části je přenášeno řídicí slovo STW1, nastavení rychlosti, nastavení rozběhové a doběhové rampy. Vysílací část slouží pro vyčítání potřebných dat z frekvenčního měniče. Ve vytvořené aplikaci byla zvolena data jako aktuální stav měniče, rychlosti, proudu, momentu, výkonu, výstupní frekvence, teploty motoru, napětí meziobvodu, výstupního napětí a chybové hlášky.

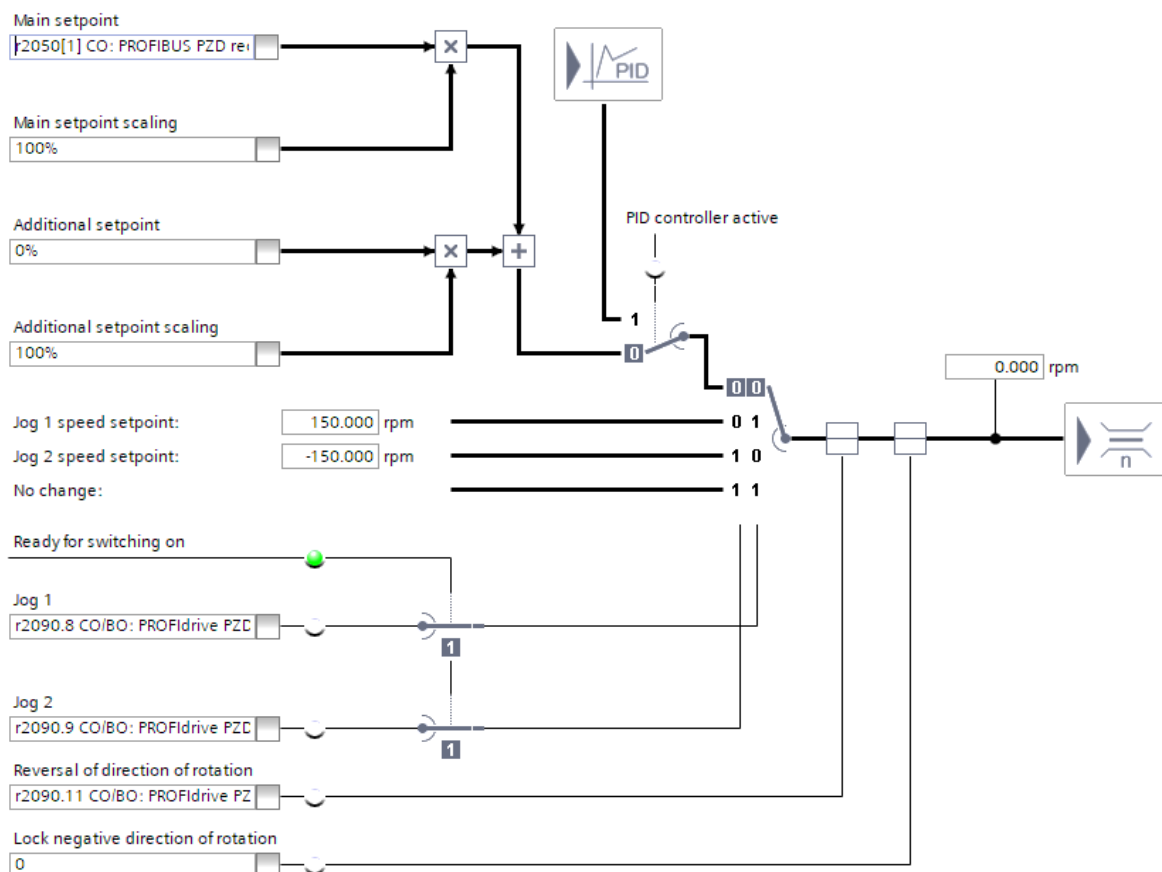
#### 5.2.4 Návrh parametrizace frekvenčního měniče

U parametrizace frekvenčního měniče G120C se začalo nastavením telegramu, konkrétně jeho přijímací a vysílací části. Bity z řídicího slova telegramu (r2090) se přiřazují jednotlivým funkcím ve funkčním diagramu.

Zkušenému uživateli je umožněno použít pro parametrizaci frekvenčního měniče Expert list, ten je tvořen tabulkou s označením, popisem, hodnotou a jednotkou parametru. V tomto případě je nutné, aby uživatel znal vazby a vnitřní schémata měniče, pamatoval si jednotlivá čísla parametrů nebo měl předem předdefinované hodnoty pro vybrané parametry. Expert list také slouží pro finální kontrolu nastavených parametrů, zobrazování měřených hodnot a nebo pro justaci vybraných parametrů.

Pro parametrizování frekvenčního měniče se může použít i funkční diagram. Jedná se o blokové schéma s vyznačenými vazbami, nastavenými hodnotami a aktuálními stavy jednotlivých parametrů. To dává uživateli větší přehled nad nastavenými parametry. Po uvedení měniče do stavu Online je možno v softwaru Stardrive (STARTER) zobrazovat aktuální a měřené hodnoty.

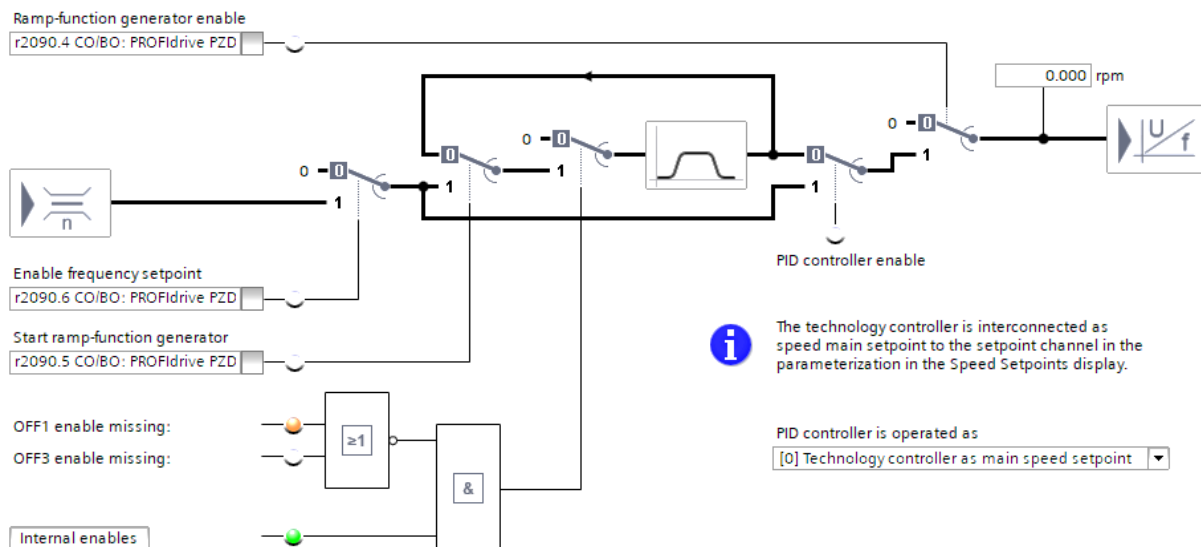
Ve vytvořené aplikaci bylo použito nastavení pomocí funkčních diagramů. Jako první se sestaví a nadefinuje řídicí telegram. Parametry z řídicího slova telegramu jsou následně přiřazovány k jednotlivým funkcím frekvenčního měniče. Pro ovládání měniče byly určeny základní funkce dle tabulky 5.1, pomocí kterých je vytvořena řídicí aplikace v ovládacím panelu HMI.



Obrázek 5.8 – Nastavení rychlosti, reverzace a ručního ovládání

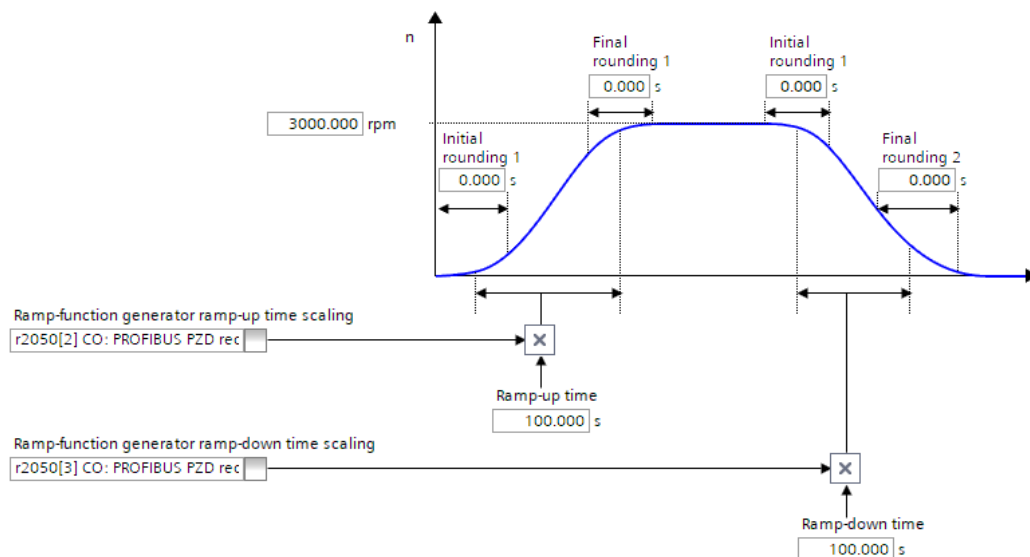
V dalším kroku se přejde k nastavení kanálu pro žádané hodnoty. Zde probíhá nastavování regulace požadované rychlosti motoru. Tento parametr se ovládá z přijímací části telegramu. První slovo bylo rezervováno pro STW1 a druhé slovo se přiřadilo pro nastavení žádané rychlosti. Obsluze je umožněno nastavit libovolnou rychlost motoru na dotykovém panelu HMI z rozsahu od -1500 do +1500 ot/min. Omezení zadání rychlosti maximálně na  $\pm 1500$  ot/min bylo přidáno z důvodů dodržení bezpečnosti při zkoušení a ožiování vybraného pohonu. Uživateli může ovládat chod připojeného motoru i pomocí ručního ovládání. To bylo realizováno pomocí funkce JOG. Ta umožňuje provozovat připojený motor rychlostí, která je předem předdefinována v parametrech JOG1 a JOG2. Hodnota byla nastavena na 150 ot/min a lze ji využít například na ruční najetí technologie do správné pozice nebo jiné servisní zásahy. Další funkce, kterou může uživatel použít je reverzace zadané hodnoty, tj. přehození sledu fází. Bez frekvenčního měniče lze tuto operaci provést pomocí 2 stykačů nebo přístroje

pro reverzační spouštění. V tomto případě se tato funkce aktivuje v řídicím slově STW1. Pokud se na bit 11 přivede logická 1, provede se reverzace zadané hodnoty po předdefinovaných rampách.



Obrázek 5.9 – Nastavení generátoru rampy

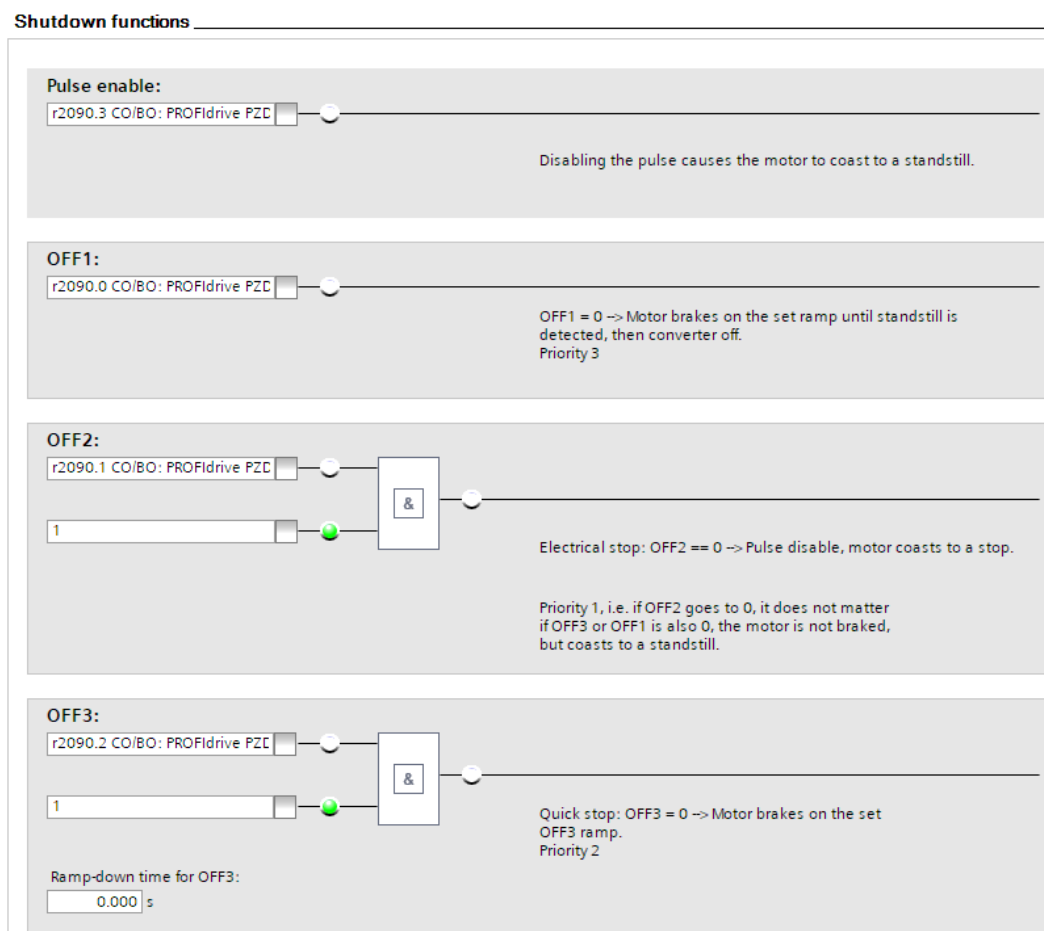
Další krok slouží pro nastavení generátoru rampy. Zde bylo nutné přiřadit bity z řídicího slova STW1 funkcím jako je povolení generátoru rampy, povolení žádané hodnoty a samotný start generátoru rampy. Pokud by nedošlo k tomuto nastavení a následnému zapsání hodnot pomocí řídicího slova STW1 do přiřazených míst ve frekvenčním měniči, neměl by měnič splněné všechny podmínky a nedošlo by tak k samotnému rozběhnutí připojeného motoru.



Obrázek 5.10 – Nastavení délky pro rozběhovou a doběhovou rampu

Další funkce, kterou může obsluha pohonu použít je nastavení délky rozběhové a doběhové rampy. V parametrizaci frekvenčního měniče se nastaví pevná doba rampy, kterou lze upravit procentně pomocí přiřazených slov v telegramu (PZD 3 a PZD 4). Hodnota byla nastavena na 100 s, protože pak lze zadávat na displej ovládacího panelu HMI skutečnou hodnotu ve vteřinách. Pokud bude nastaveno například 20 s, tj. 20 % ze 100 s a to se rovná právě nastaveným 20 vteřinám. Uživatel může

při parametrizaci nastavit i počáteční a koncové zaoblení dané rampy. To v projektu nebylo použito z důvodu předpokladu proměnné délky rampy. Tato možnost se využívá například v aplikacích, kdy je nutné dodržet plynulý rozběh nebo doběh rampy.



Obrázek 5.11 – Nastavení pro funkce vypnutí

V samotném generátoru rampy se musí nastavit doby rozběhu a doběhu. Frekvenční měnič pak po definované rampě rozbíhá a brzdí připojený motor.

Důležitou částí parametrizace frekvenčního měniče bylo vytvoření funkce vypnutí. Tato funkce umožňuje v případě Siemens měničů zastavit připojený motor třemi způsoby podle požadované priority.

Nejmenší prioritu (1) má vypnutí s označením OFF2. Jedná se o elektrické vypnutí pomocí potlačení přiváděných pulzů na motor. To znamená, že se motoru vypne napájecí napětí a ten se svojí vlastní setrvačností zastaví. U tohoto typu vypnutí nedochází k brzdění motoru pomocí frekvenčního měniče a nemaří se tak potřebná energie k brzdění v meziobvodu.

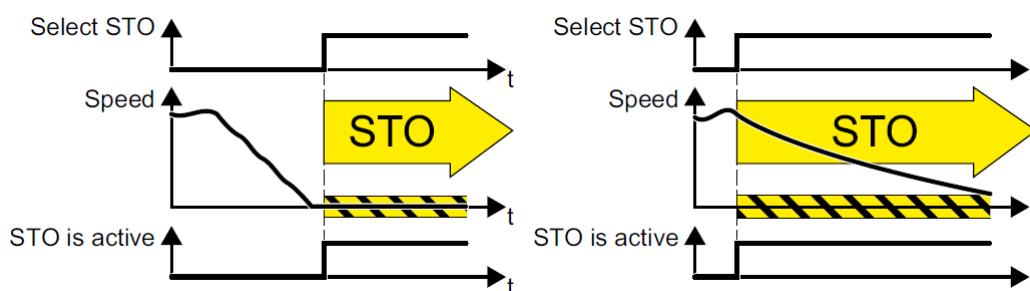
Střední prioritu (2) má vypnutí s označením OFF1. Jde o normální zastavení motoru po předem předdefinované rampě. Čas zastavení se nastaví spolu s časem rozběhové a doběhové rampy v části parametrizace pro generátor rampy.

Nejvyšší prioritu (3) má vypnutí s označením OFF3. Jedná se také o normální vypnutí jako u typu OFF1 pomocí předdefinované rampy. Zásadní rozdíl mezi OFF1 a OFF3 je ten, že se OFF3 používá pro nouzové zastavení a definuje se mu nulová doběhová rampa, tj. čas potřebný pro zastavení.

Tato funkce se používá v případě poruchy nebo chyby v měniči tak, aby nedošlo k velkému poškození měniče, motoru nebo samotného stroje, ve kterém je připojený motor osazen.

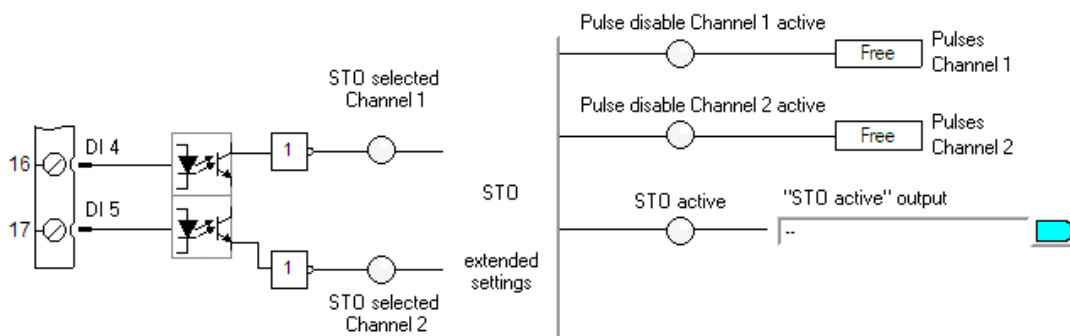
### 5.2.5 Návrh bezpečnostní funkce

Vybrané řídicí PLC neumožňuje vytvoření bezpečnostních funkcí. Z toho důvodu byla využita možnost připojení tlačítka nouzového zastavení do řídicí jednotky frekvenčního měniče. Díky této možnosti se nemusel používat doplňující bezpečnostní modul nebo bezpečnostní relé. V projektu je použita bezpečnostní funkce STO, která odpovídá bezpečnému zastavení točivého momentu motoru. Střídač s aktivní funkcí STO zabráňuje přívodu energie do motoru a motor tak nemůže déle generovat točivý moment na hřídeli. Funkce STO zabráňuje opětovnému spuštění elektricky poháněného stroje. Bezpečnostní funkce měniče je definována v normě ČSN EN 61800-5-2 Systémy elektrických výkonových pohonů s nastavitelnou rychlostí - Část 5-2: Bezpečnostní požadavky - Funkční.



Obrázek 5.12 – Průběh funkce STO - motor v klidu (vlevo), rotující motor (vpravo)

Nouzové vypnutí a nouzové zastavení jsou stavy, které minimalizují různá rizika v systému stroje nebo zařízení. Funkce STO je vhodná pro dosažení nouzového zastavení, ale nikoli nouzového vypnutí. Pokud je tlačítko nouzového zastavení stlačeno, stacionární motor by se neměl neúmyslně začít točit. Pro obnovení chodu motoru se musí uvést všechna nouzová tlačítka do původního bezpečného stavu a zároveň se musí splnit všechny požadavky, které vedou k opětovnému spuštění připojeného motoru.



Obrázek 5.13 – Realizace bezpečnostní funkce STO

Při parametrizaci bezpečnostní funkce STO se vybraným digitálním vstupům přiřadí bezpečnostní funkce F-DI. Pro frekvenční měnič G120C, který byl v projektu použit se jedná o digitální vstup DI4 a DI5 (svorky 16 a 17). Do těchto vstupů lze připojit zdvojené vypínací kontakty bezpečnostního tlačítka a na jejich vstup přivést interní stejnosměrné napětí 24 V ze svorkovnice frekvenčního měniče nebo externí 24 V napětí ze samostatného stejnosměrného zdroje. V bezpečnostních funkcích se používají vypínací kontakty z důvodů dodržení bezpečnostní funkce,

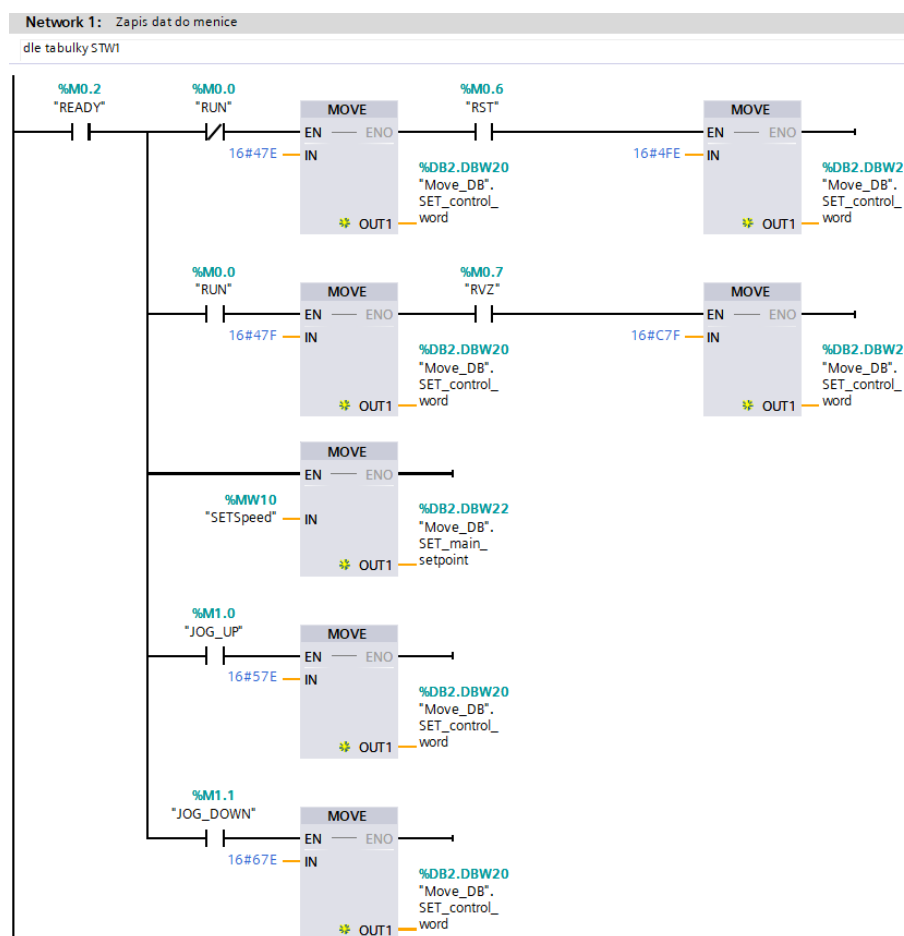
například v případech přerušení kabelu. Po stisknutí bezpečnostního tlačítka se kontakty přeruší, na bezpečnostní vstupy není přivedena logická 1 ve formě stejnosměrného 24 V signálu, řídicí jednotka měniče tento stav vyhodnotí jako nebezpečný a provede bezpečnostní funkci STO.

## 5.3 Návrh řídicího programu PLC

Řídicí program pro PLC byl rovněž jako parametrizace frekvenčního měniče a vizualizace ovládacího panelu HMI zpracován v softwaru TIA Portal. Řídicí PLC posílá a vyčítá data z připojených zařízení. V tomto případě se jedná o ovládací panel HMI a frekvenční měnič G120C. V hlavním programu Call Drives se nachází tři funkční bloky, pomocí kterých se obsluhují připojená zařízení. První blok Move slouží pro zadávání příkazů pro frekvenční měnič. Druhý blok Telegram obsahuje vytvořené cyklické datové spojení s frekvenčním měničem. Třetí blok Convert převádí datové typy HEXa z frekvenčního měniče na reálné hodnoty.

### 5.3.1 Řídicí blok Move

Frekvenčnímu měniči se musí pro vykonání určité operace poslat pomocí telegramu řídicí data. Řídicí blok Move slouží pro posílání příkazů sestavených pomocí bitů v řídicím slově STW1 (Kapitola 5.2.3) do frekvenčního měniče. Pomocí funkce Move lze přenášet vyspecifikované hodnoty příkazů. Příkazy jsou aktivovány pomocí funkčních tlačítek na dotykovém displeji HMI a následně zpracovávány v PLC.

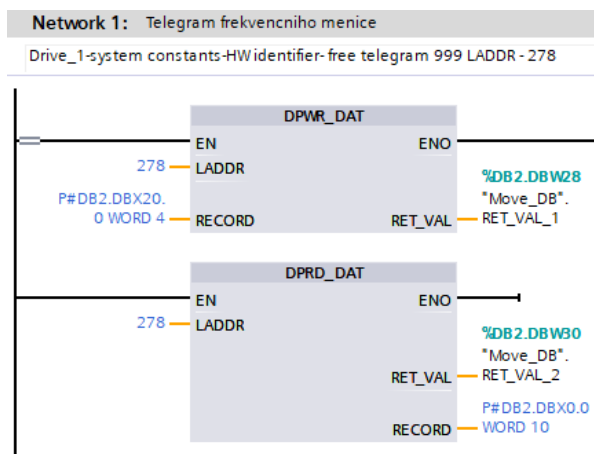


Obrázek 5.14 – Stavba vytvořeného řídicího bloku Move

Řídící slovo se mění v závislosti na aktivaci funkčních tlačítek na displeji ovládacího panelu HMI. Aktivace tlačítek z vizualizace je zpracovávána v řídicím PLC. PLC pracuje s paměťovou oblastí, která je definována pomocí paměťových míst (Bit, Word a další). Tlačítkům v HMI bylo toto paměťové místo přiřazeno a jeho stisknutím se aktivuje přiřazený bit s předem definovanou funkcí. Po aktivaci bitu se provede operace Move, která přenesení data příkazů z řídicího slova STW1 do frekvenčního měniče. Uživatel může ovládat tlačítka ve vizualizaci na ovládacím panelu HMI (Kapitola 5.1.1).

### 5.3.2 Řídící blok Telegram

Blok Telegram slouží pro vytvoření komunikace frekvenčního měniče s řídicím PLC. V tomto případě byly použity programové bloky DPWR\_DAT a DPRD\_DAT. Pro správné spojení PLC s frekvenčním měničem je nutné zjistit identifikační hardwarovou adresu měniče, která je daná na základě zvoleného typu telegramu. V samotné aplikaci byl zvolen volný telegram 999 s identifikační adresou 278. Vyčítaná a zapisovaná data jsou následně ukládána do data bloku MOVE\_DB, ve kterém byl jednotlivým Wordům přiřazen offset. Ten každému Wordu určuje specifickou pozici, ze které se následně můžou vyčítat a zapisovat data.



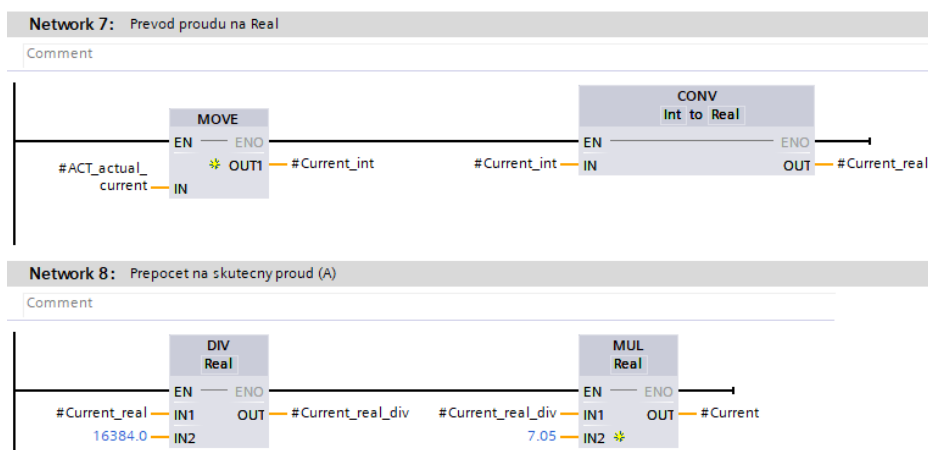
Obrázek 5.15 – Vytvoření cyklické komunikace mezi PLC a frekvenčním měničem

V telegramu se cyklicky přenáší slova z přijímací a vysílací části. V aplikaci byla využita stavba volného telegramu, který obsahuje 4 slova v přijímací části a 10 slov v části vysílací. Pomocí přijímací části se do měniče dostávají hodnoty pro aktivaci frekvenčního měniče z řídicího slova STW1, nastavení rychlosti, nastavení rozběhové a doběhové rampy. Vysílací část slouží pro vyčítání potřebných dat z frekvenčního měniče. Ve vytvořené aplikaci byla zvolena data jako aktuální stav měniče, rychlosti, proudu, momentu, výkonu, výstupní frekvence, teploty motoru, napětí meziobvodu, výstupního napětí a chybové hlásky. Na základě získaných dat od měniče byly ve vizualizaci HMI panelu vytvořeny grafy, ke kterým jsou přiřazeny měřené nebo vypočítané hodnoty.

### 5.3.3 Řídící blok Convert

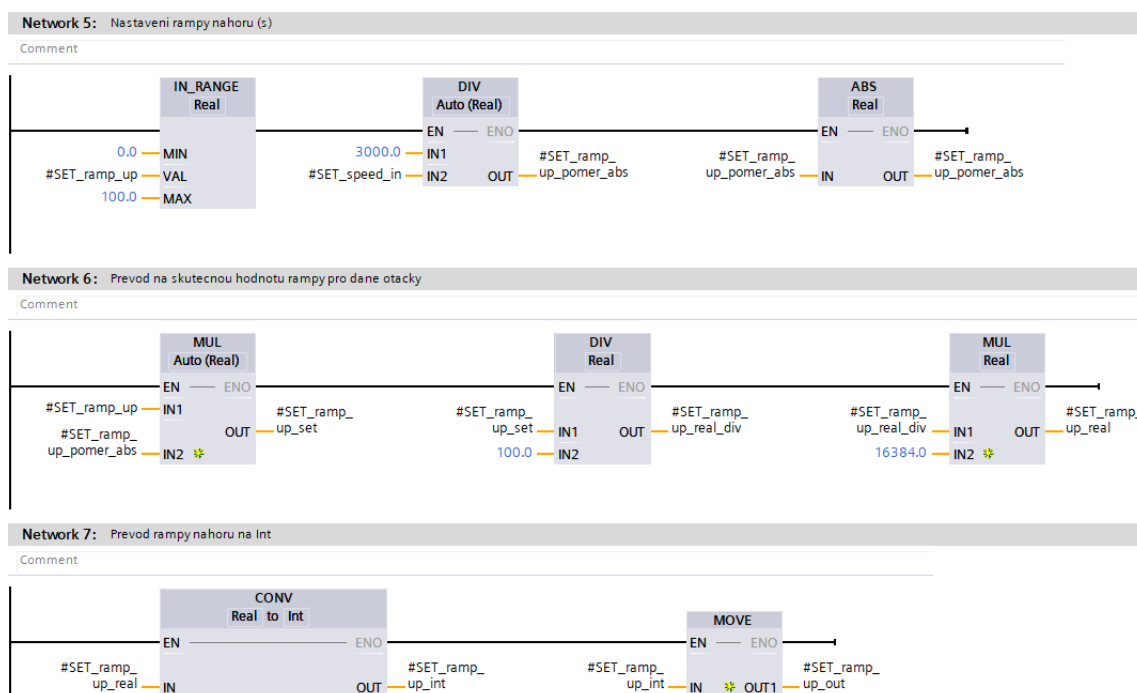
Blok Convert slouží pro přepočítání vyčítaných a zapisovaných dat měniče na reálné hodnoty. Frekvenční měnič přijímá a posílá data pouze v 16 bitových slovech (datový typ Word). Pro operátora aplikace je uživatelsky nejpříjemnější mít možnost číst a zadávat data na HMI panelu v reálných hodnotách. Proto byla všechna data převáděna na datový typ Real. Frekvenční měnič pracuje s referenční hodnotou 16384, která pro něj znamená maximální rozsah 100 %. Na obrázku 5.16

je zobrazen přepočítání proudu na skutečnou hodnotu Real. Při přepočtu je nutné správně vyčítat data stavového slova PZDX (datový typ Word) z frekvenčního měniče, následně je převést na datový typ Real a vydělit je maximálním rozsahem tj. právě zmiňovanou hodnotou 16384. Výsledkem této operace je hodnota pro 1 %, ta se musí vynásobit hodnotou zvolenou při parametrizaci frekvenčního měniče. V parametrizaci byl proudový limit nastaven na hodnotu 7,05 A. Po přepočtu dat z měniče na skutečnou hodnotu lze zobrazovat reálný výsledek na obrazovce HMI panelu.



Obrázek 5.16 – Ukázka převodu z datového typu Word na Real

V aplikaci byl pro tyto přepočty vytvořen univerzální blok, který může být použit v dalších projektech. Je složen z dat, která jsou vyčítána a zapisována v telegramu tak, aby s nimi mohl uživatel dále pracovat jako s reálnými hodnotami. Blok Convert se skládá z části vstupní (aktuální a nastavené hodnoty měniče) a části výstupní (data převáděná do PLC). Blok obsahuje převody hodnot pro aktuální rychlost, proud, moment, výkon, výstupní frekvenci, teplotu motoru, napětí meziobvodu, výstupní napětí, nastavenou rychlost, nastavení rozběhové a doběhové rampy.



Obrázek 5.17 – Ukázka převodu rozběhové a doběhové rampy



Pro nastavení rozběhové a doběhové rampy měnič vychází z nastavené referenční rychlosti, která byla v tomto případě nastavena na 3000 ot/min. Pokud uživatel nastaví rozběhovou rampu například na 10 s pro rychlost 1500 ot/min, roztočí se motor na požadovanou rychlost za 5 s. Měnič uvažuje vztažnou hodnotu nastavení rampy vždy ke svým 100 % (parametr p2000 = referenční rychlost při referenční frekvenci = 3000 ot/min). To znamená, že za 10 s se motor roztočí pouze pokud nastavíme rychlost 3000 ot/min. Pro jiné rychlosti bude doba rampy odlišná, například pro rychlosti 750 ot/min = 2,5 s, 1500 ot/min = 5 s, 2250 ot/min = 7,5 s. Z toho důvodu byl vytvořen přepočít tak, aby nastavená hodnota rampy na displeji odpovídala reálné době pro jakoukoliv nastavenou rychlost.

Uživatel disponuje možností nastavit dobu rampy v rozsahu od 0 do 100 s. Následně se hodnota referenční rychlosti (parametr p2000 = 3000 rpm) vydělí zadanou rychlostí. Pokud by uživatel zadal otáčky ve druhém směru, tj. záporné vycházela by i doba rampy záporná. To bylo v tomto případě nežádoucí, proto byla tato možnost odstraněna pomocí absolutní hodnoty. Výsledný poměr se vynásobí nastavenou dobou rampy, která pak odpovídá skutečné nastavené rychlosti, tj. pro jakoukoliv zadanou rychlost doba rampy odpovídá zadanému času rampy.

### 5.4 Projektová dokumentace pro ovládání vybraného pohonu

Pro ovládání pohonu s frekvenčním měničem byl navržen elektrický rozvaděč, který by v budoucnu mohl sloužit jako výukový hardware pro výuku parametrizace frekvenčních měničů. Návrh rozvaděče obsahuje použitý frekvenční měnič, řídicí PLC, ovládací panel HMI, spínací, napájecí a ochranná zařízení.

#### 5.4.1 Návrh rozvaděče pro ovládání vybraného pohonu

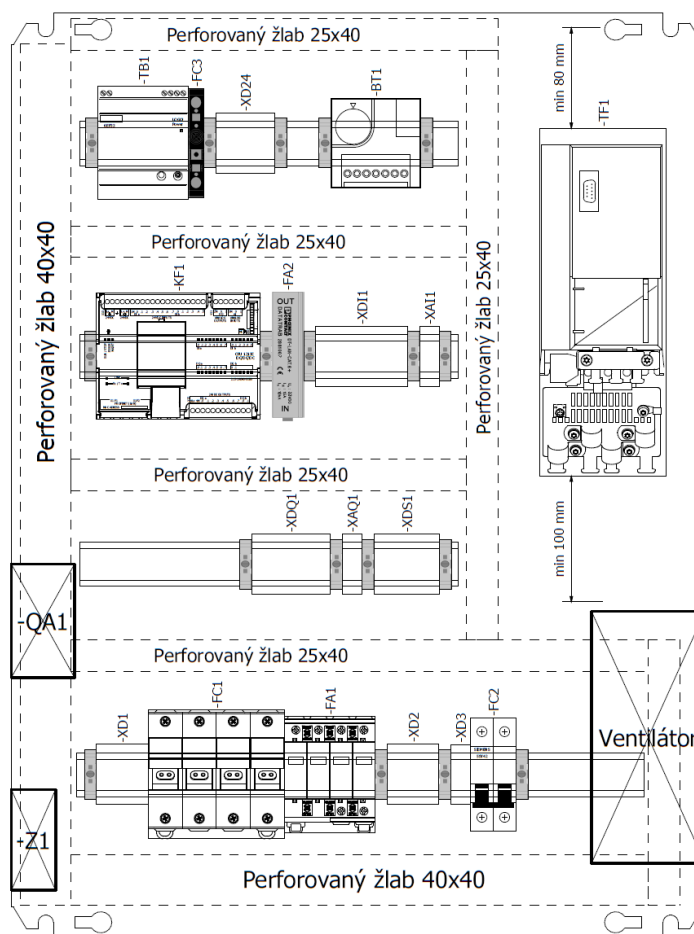
Návrh rozvaděče byl zpracován v softwaru EPLAN P8 2.8. Dokumentace obsahuje návrh rozvaděče, vnější dispozici skříně, dispozici montážní desky, elektrická schémata a seznam použitých zařízení.

Rozvaděčová skříň byla vybrána od společnosti Rittal z řady kompaktních rozvaděčových skříní AX, s objednacím číslem AX 1376.000. Vnější rozměry skříně jsou 600x760x350 mm. Uvnitř skříně se nachází osazená montážní deska s rozměrem 550x735 mm.

Rozvaděč byl navržen tak, aby mohl být napájen pouze z jedné třífázové zásuvky. Uživatel může pomocí černého otočného vypínače na boku připojit rozvaděč k napájecí síti a přivést tak napájení do všech zařízení.

Přívod byl vybaven přepětovou ochranou typu 3. Tato přepětová ochrana zde představuje citlivější ochranu, která se instaluje za svodiče typu 1+2 nebo typu 2. Tyto ochrany se umísťují do blízkosti citlivého zařízení, které vyžaduje velmi nízkou ochrannou napětovou úroveň. V projektu se jedná především o frekvenční měnič a zařízení napájená z 24 VDC rozvodu (PLC, ovládací panel HMI). Předpokládá se, že přívod, ze kterého bude rozvaděč napájený bude chráněn přepětovými ochranami typu 1+2 a zároveň bude závislý na správné ochraně budovy před účinky atmosférického přepětí ve smyslu norem řady ČSN EN 62305 - Ochrana před bleskem.

V rozvaděči jsou umístěna jistící zařízení pro ochranu frekvenčního měniče a 24 VDC napájecí soustavy, která byla provedena jako 2PE, 24VDC, PELV pomocí stabilizovaného napájecího zdroje od společnosti Siemens s typovým označením 6EP3333-6SB00-0AY0.



Vývody a přívody spodem

Obrázek 5.18 – Náhled dispozice montážního panelu

Vstupy a výstupy řídicího PLC s objednáčím číslem 6ES7215-1AG40-0XB0 v projektu nebyly použity, ale jsou vyvedeny na samostatné svorky pro možnost rozšíření rozvaděče. Pokud by nebylo dostačující ovládání pohonu s frekvenčním měničem přes dotykový panel HMI, můžou se na dveře rozvaděče doplnit hardwarové prvky ve formě optických signálů, tlačítek nebo akustické signalizace.

Ovládací panel Siemens s typovým označením 6AV2124-0GC01-0AX0 byl vsazen do dveří rozvaděče. Pomocí tohoto dotykového panelu probíhá ovládání aplikace, přes kterou lze řídit připojený motor k měniči. Panel obsahuje řídicí aplikaci popsanou v kapitole 5.1.1.

Na dveřích rozvaděče byla dále umístěna průchozí panelová zásuvka L-com RJ45 s typovým označením WPRJ-FTCAT5E pro připojení do sítě Ethernet/Profinet. Datová zásuvka byla opatřena přepětovou ochranou typu DT-LAN-CAT.6+, která chrání zařízení s datovým připojením uvnitř rozvaděče před možným nežádoucím přepětím. Dále bylo vyvedeno bezpečnostní tlačítko, které zabezpečuje bezpečné zastavení připojeného motoru tím, že vyvolá bezpečnostní funkci bezpečného zastavení točivého momentu uvnitř měniče. Na dveřích rozvaděče byla umístěna bílá signálka pro signalizaci připravenosti frekvenčního měniče k sepnutí výstupního napětí na připojený motor, tj. stav kdy byly splněny všechny podmínky pro spuštění připojeného motoru.

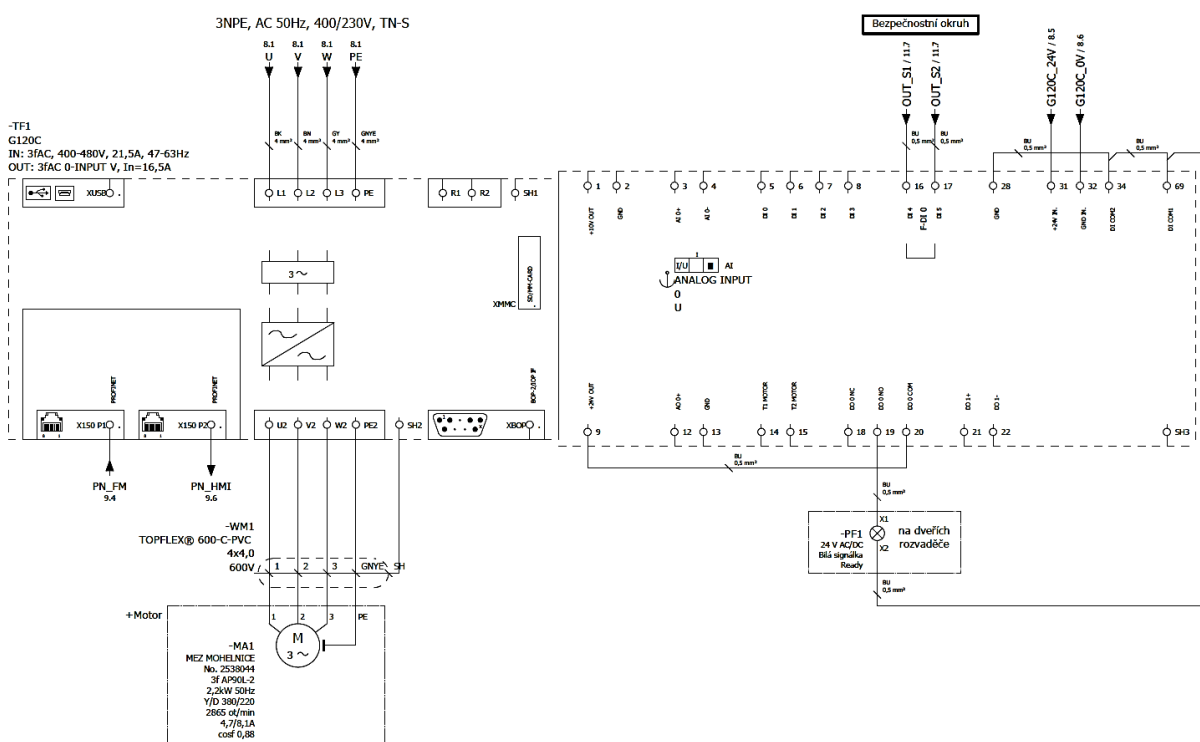
Samotný frekvenční měnič je napájen z třífázového přívodu 3NPE, AC 50Hz, 400/230V, TN-S vedeného do rozvaděčové skříně. Jištění napájecího přívodu frekvenčního měniče je provedeno

dle doporučení výrobce v katalogovém listu, konkrétně se jedná o jištění pomocí pojistek 32 A/gR v pojistkovém odpínači OEZ OPVP14-3N. Přívod je zároveň jištěn přepětovou ochranou, která jistí napájená zařízení před možným nebezpečným přepětím. Frekvenční měnič obsahuje integrované proudové, přepětové, tepelné a další ochrany. Ty chrání zařízení, pokud by selhaly hlavní externí ochrany, tak aby nedošlo k úplnému zničení frekvenčního měniče.

Silový vývod z frekvenčního měniče je proveden pomocí stíněného motorového napájecího kabelu TOPFLEX® 600-C-PVC4G4 mm<sup>2</sup> pro napětové hladiny 0,6/1 kV, který je přímo určený pro napájení motorů z frekvenčních měničů. Kabel obsahuje měděné stínění, na základě kterého ho lze doporučit z hlediska EMC. Pro optimalizaci vlastností EMC se doporučuje připojit kontakt měděného stínění na obou koncích kabelu do stínících nebo zemních svorek.

Do bezpečnostního vstupu řídicí jednotky frekvenčního měniče byl zavedený bezpečnostní okruh s funkcí STO a zároveň byl připojen jeden reléový výstup na bílou signálku. Signálka je umístěná na dveřích rozvaděče a po její aktivaci opticky signalizuje připravenost frekvenčního měniče.

Síťové schéma komunikační sběrnice Profinet pro ovládání aplikace s frekvenčním měničem je zobrazeno na obrázku 4.2. Na první síťový konektor měniče je přivedena patch kabelem UTP cat.5e datová část z řídicího PLC, druhý síťový konektor je propojen rovněž kabelem UTP cat.5e s ovládacím panelem HMI. Celková datová struktura byla řešena pomocí sběrnice Profinet v komunikační síti 192.168.0.X, která umožňuje zařízením komunikovat mezi sebou a vyměňovat si požadovaná data.



Obrázek 5.19 – Navržené schématické zapojení frekvenčního měniče

### 5.4.2 Výpočet oteplení rozvaděče

Výpočet oteplení je nutný pro správný návrh chlazení a provádí se na základě rozvaděčové normy ČSN EN 60439 ed.2 - Rozvaděče nízkého napětí - Část 1: Všeobecná ustanovení. Většina prvků v rozvaděči disponuje při svých vlastnostech určitým ztrátovým výkonem. Ten je potřeba kompenzovat

odvodem tepla tak, aby nedovoleně nerostla teplota uvnitř rozvaděče nad povolenou hodnotu. Toho lze dosáhnout například použitím ventilátorů, výměníků, chladicích jednotek a dveří. Odvodu tepla pomáhá pasivně i samotná rozvaděčová skříň, která odvádí ztrátový výkon pomocí vlastní povrchové plochy.

#### Výpočet chlazení

Prvek rozváděče č. 1	AX 1376.000	Šířka x Výška x Hloubka	600 x 760 x 350 mm
Součinitel prostupu tepla "k" rozváděče	5,5	Typ instalace/montáže	Samostatný rozváděč pro montáž na stěnu
Střední teplota rozváděče bez chlazení		71 °C	
Je nezbytné chlazení	Ano	Chladicí jednotka je nutná	Ne
1 x Přidání		320 W	
<b>Ztrátový výkon</b>		<b>320 W</b>	
Tepelná výměna povrchovou plochou		78 W	
<b>Odváděný výkon</b>		<b>242 W</b>	

#### Opatření k zachování teploty

	Přístroj k montáži na stěnu	Přístroj k montáži na střeche
1. Ventilátor s filtrem	SK3239100 + SK3239200 (87 [m <sup>3</sup> /h])	Nezbytný průtok vzduchu: 82 [m <sup>3</sup> /h]

Obrázek 5.20 – Ukázka výsledku výpočtu pro oteplení rozvaděče

V projektové dokumentaci byl vypracován protokol o ztrátovém výkonu jednotlivých zařízení uvnitř rozvaděče. Celkový ztrátový výkon s určitou rezervou byl dosazen do výpočetního a návrhového softwaru Therm 6.6 od společnosti Rittal. Tento software umožňuje vypracování návrhu chladicích zařízení tak, aby teplota uvnitř rozvaděče nepřesáhla stanovené maximum. Po provedení výpočtu byl zjištěn minimální nezbytný průtok vzduchu rovný 82 m<sup>3</sup>/h. Proto byla v návrhu rozvaděče vybrána sestava jednoho ventilátoru a jedné výfukové mřížky SK 3239.100 + SK 3239.000 o celkovém průtoku vzduchu 87 m<sup>3</sup>/h. Ventilátor bude spínán pomocí termostatu SK 3110.000, který bude nastaven na teplotu 30 °C. Kombinací jednoho ventilátoru vpravo dole a jedné výfukové mřížky vlevo nahoře byl vytvořen komínový efekt, díky kterému se prohání chladnější vzduch kolem vnitřního vybavení rozvaděče. Předpokládá se, že rozvaděč nebude připojen k napájecí síti dlouhodobě, proto se bude ventilátor spínat pouze při delším testování. V tomto případě může nastat situace, kdy je nutné mařit energii potřebnou k brzdění například v brzdných odporech.

### 5.4.3 Protokol o určení vnějších vlivů

V projektové dokumentaci byl zpracován protokol o určení vnějších vlivů na základě normy ČSN 33 2000-5-51 ed. 3. Protokol byl vypracován z důvodů stanovení dostatečné ochrany pro daný pohon s frekvenčním měničem, osoby a prostředí, ve kterém bude elektrické zařízení provozováno. Tento protokol slouží jako výchozí podklad pro zpracování plánu údržby, postupu při montáži elektrických zařízení a kabelů. Vypracování protokolu o určení vnějších vlivů je jedna z hlavních příprav projektanta pro výběr vhodných zařízení. Vnější vlivy se určují ve třech kategoriích:

- vlivy A – vnější vlivy (teplota, vlhkost, výskyt vody, prašnost, výskyt rostlinstva a další)
- vlivy B – prostorové využití (charakteristika osob, kontakt osob s potenciálem a další)
- vlivy C – charakteristika konstrukce (stavební materiály, konstrukce budovy a další).

Po určení všech vnějších vlivů v jednotlivých kategoriích bylo provedeno zhodnocení. Pro vnitřní prostor pracoviště sloužícího pro ovládání a parametrizaci vybraného pohonu se jedná dle příslušné normy o prostor NEBEZPEČNÝ. To znamená, že se musí provést vhodná opatření, která

povedou k výraznému zabezpečení provozované technologie. Důležité je zabezpečení ochrany před dotykem živých částí pomocí krytů a přepážek. Zároveň je potřeba zajistit omezení elektromagnetického rušení, které může ovlivňovat připojený frekvenční měnič, nebo místní síť, do které bude provozované zařízení připojeno. Při montáži frekvenčního měniče je nutné dodržovat doporučená technická zapojení uvedená v příslušném manuálu měniče. Jedná se například o připojení stínění v přívodním kabelu nebo osazení frekvenčního měniče do prostoru rozvaděče. V prostoru pracoviště se musí dodržovat místní předpisy, z toho důvodu se ve vymezeném prostoru můžou vyskytovat pouze osoby poučené. Protokol o určení vnějších vlivů je přiložen v příloze E006.

**Protokol o určení vnějších vlivů pro**

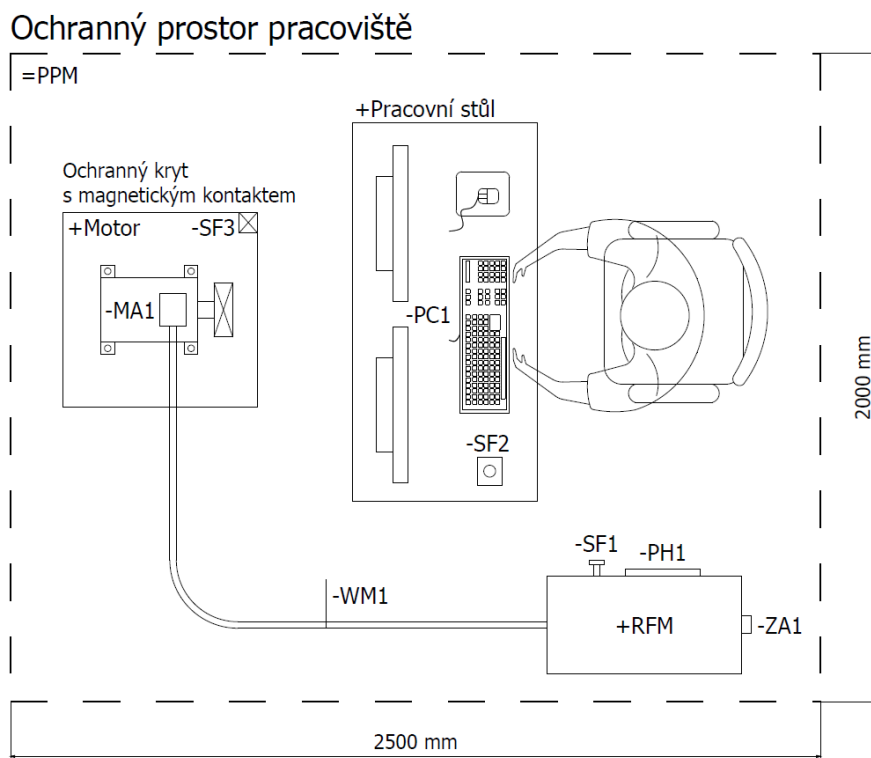
Prostor: Vnitřní prostor pracoviště pro parametrizaci a ovládání elektrického pohonu

KÓD	VNĚJŠÍ VLIV - PROSTŘEDÍ (A)	CHARAKTERISTIKA, UPŘESNĚNÍ	
AA5	Teplota okolí	teploty dosahující +5 až +40 °C	
AB5	Atmosférická vlhkost	vlhkost dosahující 5 až 85 %	
AC1	Nadmořská výška	≤2000 m (normální)	
AD1	Výskyt vody	zanedbatelný (normální)	IP0X
AE1	Výskyt cizích pevných těles	zanedbatelný (normální)	IP0X
AF1	Výskyt korozivních nebo znečišťujících látek	zanedbatelný (normální)	IP0X
AG1	Ráz	mírný (normální)	
AH2	Vibrace	střední (zvlášť navržená zařízení)	ochrana vhodným opatřením
AK1	Výskyt rostlinstva nebo plísní	bez nebezpečí (normální)	
AL1	Výskyt živočichů	bez nebezpečí (normální)	
AM-X-1	Elektromagnetická, elektrostatická nebo ionizující zařízení	kontrolovaná úroveň - musí se zabezpečit aby se kontrolovaná úroveň nezhoršila	ochrana vhodným opatřením
AN1	Sluneční záření	nízké (normální)	
AP1	Seismické účinky	zanedbatelné (normální)	
AQ2	Bouřková činnost	nepřímé ohrožení - provedou se opatření proti přepětí	ochrana vhodným opatřením
AR1	Pohyb vzduchu	pomalý (normální)	
KÓD	VNĚJŠÍ VLIV - VYUŽITÍ (B)	CHARAKTERISTIKA, UPŘESNĚNÍ	
BA4	Schopnost osob	poučené osoby	ochrana vhodným opatřením
BB2	Elektrický odpor lidského těla	normální odpor (standartní podmínky)	
BC3	Kontakt osob s potenciálem země	částečný	
BD1	Podmínky úniku v případě nebezpečí	malá hustota / snadný únik (normální)	
BE1	Zpracovávané nebo skladované látky	bez významného nebezpečí (normální)	
KÓD	VNĚJŠÍ VLIV - KONSTRUKCE (C)	CHARAKTERISTIKA, UPŘESNĚNÍ	
CA1	Stavební materiály	nehořlavé (normální)	
CB1	Konstrukce budovy	zanedbatelné nebezpečí (normální)	

Obrázek 5.21 – Protokol o určení vnějších vlivů

## 5.5 Návrh pracoviště pro parametrizaci a ovládání elektrického pohonu

Pro ovládání pohonu s frekvenčním měničem bylo navrženo pracoviště sloužící pro ovládání a parametrizaci vybraného pohonu. Pracoviště by mohlo sloužit pro výuku parametrizace a ovládání pohonu s frekvenčním měničem. Pracoviště obsahuje vyprojektovaný řídicí rozvaděč s hlavními komponenty Siemens, konkrétně se jedná o frekvenční měnič G120C a řídicí PLC S7-1200. Jednotlivé aplikace pro ovládání elektrického pohonu by se parametrizovaly a programovaly ve vývojovém prostředí TIAportal s nástavbami WinCC a Startdrive (STARTER). Uživatel by měl k dispozici pracovní počítač, navržený rozvaděč s dotykovým displejem HMI a připojený motor.



Obrázek 5.22 – Návrh pracoviště pro parametrizaci a ovládání elektrického pohonu

### 5.5.1 Určení mezí navrženého pracoviště

Navržená technologie pracoviště slouží pouze pro ovládání a parametrizaci elektrického pohonu. K jakýmkoliv jiným úkonům nesmí být zařízení používáno.

#### ○ Provozní režimy

- 1) Pracovní režim
- 2) Servisní režim – servis provádí pouze proškolená obsluha po odpojení přívodu ovládacího rozvaděče +RFM pomocí hlavního vypínače, ten je nutné zabezpečit visacím zámek tak aby nedošlo k jeho opětovnému zapnutí

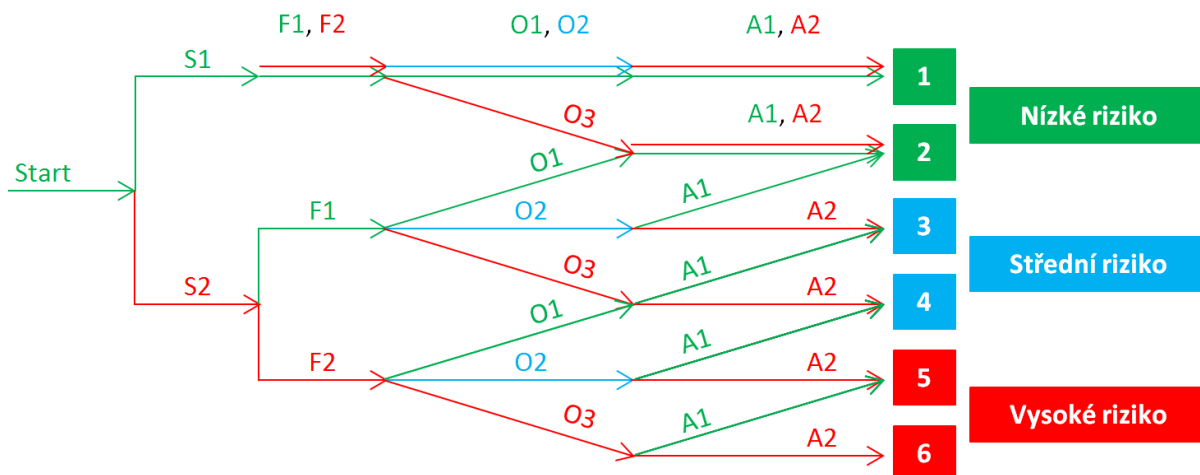
#### ○ Způsob používání

- Zařízení musí být provozováno pouze v krytých prostorech
- Přípustné klimatické podmínky:
  - Pracovní prostředí: suché
  - Rozsah pracovních teplot: +5 až +40 °C
  - Přípustná změna teploty za chodu: maximálně 10 °C za hodinu
  - Relativní vlhkost dle normy DIN 40040: 15 až 95 %
  - Barometrický tlak: 660 až 1060 hPa
- Zařízení může obsluhovat pouze prokazatelně zaškolená obsluha.
- Servis zařízení může provádět pouze prokazatelně proškolená obsluha údržby, nebo servisní technik.
- Vstup do pracovního prostoru je možný pouze po odemknutí vstupních dveří pověřenou osobou. Cizí osoby se nesmí v prostoru pracoviště vyskytovat.

- **Vymezení prostoru (rozsah pohybu, interakce člověk/stroj)**
  - Vymezený prostor pro pracovníka obsluhy zařízení je pracovní stůl a okolí ovládacího rozvaděče s dotykovým panelem HMI.

### 5.5.2 Posouzení rizika a snižování rizika navrženého pracoviště

Identifikace nebezpečí probíhala na základě normy ČSN EN ISO 12100 určením 4 hlavních parametrů, mezi které patří vážnost zranění (S), četnost a trvání vystavení riziku (F), pravděpodobnost vzniku nebezpečné situace (O) a možnost vyvarování se škody (A).



Obrázek 5.23 – Určení posouzení rizika

- **Vážnost zranění S**
  - S1 – lehké, nejpozději do dvou dnů se dá vrátit do zaměstnání
  - S2 – vážné, často nevratné, neschopnost trvá více jak dva dny
- **Četnost a trvání vystavení se riziku F**
  - F1 – méně často nebo krátké vystavení (dvakrát za směnu, nebo méně než 15 min za směnu)
  - F2 – často nebo dlouhé vystavení (vícekrát než dvakrát za směnu, déle než 15 min za směnu)
- **Pravděpodobnost vzniku nebezpečné situace O**
  - O1 – nízká, tak nepravděpodobná, že se dá předpokládat, že k ničemu nedojde
  - O2 – střední, je možné, že nastane. Vysledováno během posledních dvou let, vyžaduje zaškolenou obsluhu
  - O3 – vysoké, k závadám dochází každých šest měsíců nebo častěji, obsluha není zaškolená
- **Možnost vyvarování se škody A**
  - A1 – možné, rychlost pohybu je nižší než 250 mm/s, nebezpečí je detekovatelné
  - A2 – nemožné

Na základě ČSN EN ISO 12100 bylo určeno výchozí riziko bez použití bezpečnostních opatření a zařízení. Výchozí stav představovalo zařízení elektrického pohonu bez možnosti použití tlačítek nouzového zastavení a odkrytý nezabezpečený rotující motor. Tyto skutečnosti zařadily navrženou technologii s elektrickým pohonem do skupiny S2 (vážné, často nevratné zranění, neschopnost trvá více jak dva dny), F2 (časté nebo dlouhé vystavení riziku), O2 (střední

pravděpodobnost rizika, je možné, že nastane, vyžaduje zaškolenou obsluhu) a A2 (nemožné vyvarovat se škodě). Vyprojektované zařízení tak bylo zařazeno do kategorie vysokého rizika 5.

Navržené zařízení je proto nutné zabezpečit tak, aby neohrožovalo obsluhu a bylo pro okolí bezpečné. To lze provést snížením rizika pomocí zabudovaných konstrukčních bezpečnostních opatření, snížením rizika bezpečnostní ochranou, realizací doplňkových ochranných opatření nebo snížením rizika informacemi pro používání. Pro tento případ byla navržená bezpečnostní opatření, která výchozí riziko výrazně snižují.

Byl vypracován protokol pro odhad a snížení rizika (Příloha E007). Hlavní navržené bezpečnostní opatření je zakrytí nebezpečného prostoru motoru pevným ochranným průhledným krytem. Pracovní prostor obsluhy je oddělen pomocí krytu s dvířky. Kryt je v uzavřené poloze uzamčen a jeho poloha se detekuje bezpečnostním magnetickým kontaktem. Pro vyvolání funkce nouzového zastavení byla použita bezpečnostní tlačítka, která aktivují bezpečnostní funkci STO ve frekvenčním měniči. Další přijaté opatření bude zabezpečeno označením nebezpečného prostoru piktogramem "Pozor rotující část". Předpokládá se, že zařízení bude obsluhovat pouze zaškolená obsluha a v okolí se nebudou vyskytovat cizí nezaškolené osoby.

Použitím těchto bezpečnostních prvků a místních nařízení se zařízení řadí do kategorií S1 (lehké zranění, nejpozději do dvou dnů se dá vrátit do zaměstnání), F1 (méně časté nebo krátké vystavení se riziku), O1 (nízká pravděpodobnost rizika, tak nepravděpodobná, že se dá předpokládat, že k ničemu nedojde), A1 (možné vyvarování se škody, rychlost pohybu je nižší než 250 mm/s, nebezpečí je detekovatelné). Navržené zařízení díky těmto opatřením tak bylo zařazeno do bezpečnostní kategorie nízkého rizika 1. Na základě těchto opatření a vypracování protokolu s výsledkem nízkého rizika lze zařízení považovat za bezpečné.



## Závěr

Digitalizace v aplikacích elektrických pohonů s frekvenčními měniči se v posledních letech výrazně rozšiřuje. V této oblasti se začínají čím dál častěji využívat zařízení pro online monitoring, která zefektivňují a usnadňují práci s frekvenčními měniči. Tato skutečnost má za následek výrazné finanční a časové úspory při zprovoznění nových elektrických pohonů.

Správný návrh ovládání a řízení elektrického pohonu je klíčový pro bezchybný chod vybrané aplikace. V průmyslu se nejčastěji vyskytují typy aplikací, kdy je frekvenční měnič ovládán pomocí nadřazeného řídicího zařízení, nejčastěji se jedná o programovatelné logické automaty nebo průmyslové osobní počítače. Do řídicích zařízení jsou připojeny jednotlivé vstupy, pomocí kterých může obsluha ovládat danou technologii. Zpětná vazba o měřených datech technologie je zpracovávána řídicími zařízeními a následně zobrazována například na monitorech v podobě časových grafů.

Ovládací panely HMI jsou schopny plnit funkci vstupní i zobrazovací. Jedná se o komplexní řešení vhodné pro vybrané průmyslové aplikace, kde je potřeba monitorovat aktuální stav dané technologie. Na obrazovkách ovládacích panelů HMI lze vytvářet sofistikované vizualizace tak, aby obsluha byla usnadněna práce při jejím ovládání. Data z panelů HMI mohou být zpracovávána a následně používána pro analýzu provozních dat. Na základě získaných dat lze vyhodnocovat cenné informace o stavu elektrického pohonu, které mohou být následně využity pro optimalizaci výroby a provozu. Díky digitalizaci mohou stroje a systémy komunikovat mezi sebou a navzájem si vyměňovat data v reálném čase.

V projektu diplomové práce bylo navrženo kompletní univerzální řešení, které lze implementovat s drobnými úpravami například do aplikací dopravníků, ventilátorů, čerpadel a jiných aplikací, kde je nutné regulovat otáčky v čase. Jako vzorový projekt byl vytvořen návrh řídicího a parametrizačního pracoviště pro konkrétní elektrický pohon s univerzálním a kompaktním frekvenčním měničem Siemens SINAMICS G120C. Pracoviště bylo vyprojektováno a zabezpečeno tak, aby na něm mohla probíhat výuka parametrizace elektrického pohonu, návrhu řídicího programu PLC a vizualizace ovládacího panelu HMI. V práci bylo vypracováno kompletní softwarové výchozí řešení pro ovládání připojeného pohonu. Vypracované řešení obsahuje popisovanou vizualizaci ovládacího panelu HMI, parametrizaci frekvenčního měniče a návrh řídicího programu programovatelného logického automatu. Pro možnou realizaci byl zpracován hardwarový návrh řídicího rozvaděče včetně projekce schématických zapojení, dispozice a osazení jednotlivých zařízení ve vybrané rozvaděčové skříni, vytipování vhodných zařízení, výpočtu oteplení rozvaděče a návrhu řešení pro kompenzaci tepla pomocí ventilátoru, protokolu o určení vnějších vlivů a v neposlední řadě zpracování protokolu pro posouzení a snižování rizika navrženého pracoviště.

Pracoviště lze v budoucnu rozšířit například o konkrétní technologii, která bude poháněna pomocí připojeného pohonu. Parametrizaci, řídicí program a vizualizaci je pak možné nastavit na tuto vybranou aplikaci. Zároveň by bylo možné získávat zpětnou vazbu o správnosti provedení vytvořeného softwaru. Stávající frekvenční měnič G120C může být doplněn o inteligentní webový server s katalogovým číslem 6SL3255-0AA00-5AA0, pomocí kterého lze efektivněji uvádět frekvenční měnič do provozu. Webový server umožňuje diagnostikovat a monitorovat aktuální stav frekvenčního měniče a připojeného motoru. Velkou výhodou tohoto serveru je možnost provádět parametrizaci frekvenčního měniče pomocí tabletu nebo chytrého telefonu. Uživateli je pak umožněno provést výchozí nastavení

pohonu jednodušeji než na osobním počítači s rozsáhlým a komplikovaným softwarem. Velkou výhodou by bylo i přidání snímače momentu a wattmetru. Z naměřených hodnot by bylo možné vykreslovat aktuální křivky napětí, proudu, momentu a výkonu na ovládacím panelu HMI. Na základě naměřených hodnot by bylo možné počítat celkovou účinnost regulovaného pohonu a elektrické a mechanické ztráty na vybraných místech v soustavě připojeného pohonu. Z vypočítaných hodnot by mohl uživatel zjistit, že účinnost motoru napájeného z měniče kmitočtu je nižší než u neregulovaného pohonu. Celková účinnost pohonu se sníží v řádu desetin procent díky ztrátám na frekvenčním měniči a filtračních zařízeních, jako jsou například běžně používané filtry a reaktory. Toto nepatrné snížení účinnosti je však kompenzováno výrazně lepšími provozními vlastnostmi, jako je například omezení záběrného proudu a momentu, možnost plynulého rozběhu a doběhu po předdefinované rampě, regulace rychlosti a brzdění, reverzní provoz, realizace bezpečnostních funkcí, nižší spotřeba elektrické energie při rozběhu a větší energetické úspory.

Obecně lze tedy říct, že provozování motorů napájených z frekvenčních měničů je pro vybrané průmyslové aplikace výhodnější z hlediska provozních vlastností, finančních úspor a možnosti integrace pohonu do komunikačních sběrnic.

## Použitá literatura

- [1] KOCMAN, Stanislav. *Asynchronní stroje*. Ostrava, 2002. [online]. [cit. 2019-11-15]. URL: <[http://http://feil.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske\\_FS/prednasky/sylab\\_Asynchronni%20stroje\\_bc%20FS.pdf](http://http://feil.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske_FS/prednasky/sylab_Asynchronni%20stroje_bc%20FS.pdf)>
- [2] CHLEBIŠ, Petr. *Výkonová Elektronika I, učební texty*. Ostrava, 2007. [online]. [cit. 2019-11-24]. URL: <<http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FEI/VEI/Polovodicove%20soucastky.pdf>>
- [3] JAVŮREK, Jiří. *Regulace moderních elektrických pohonů*. 1. vyd. Praha, 2003. 264 s. ISBN 80-247-0507-9.
- [4] BRANŠTETTER, Pavel. *Elektrické regulované pohony III, učební texty*. Ostrava: VŠB -TU Ostrava, 2012.
- [5] VONDRÁŠEK, František, Tomáš GLASBERGER, Jiří FOŘT, Martin JÁRA a Jan MICHALÍK. *Výkonová elektronika*. 3. rozšířené vydání. V Plzni: Západočeská univerzita, 2017. ISBN 978-80-261-0688-3.
- [6] KOCMAN, Stanislav. *EMC regulovaných pohonů*. Ostrava: VŠB -TU Ostrava, květen 2018.
- [7] Profinetuniversity.com. *Industrial Automation & Ethernet*. [online]. [cit. 2020-2-12]. URL: <<https://profinetuniversity.com/category/industrial-automation-ethernet/>>
- [8] Profinetuniversity.com. *PROFIdrive application profile*. [online]. [cit. 2020-2-12]. URL: <<https://profinetuniversity.com/application-profiles/profidrive-application-profile/>>
- [9] Siemens. *SINAMICS G110M, G120, G120P, G120C, G120D inverters, Fieldbus systems: PROFIBUS, PROFINET, EtherNet/IP, CANopen, USS, Bacnet, Modbus*. [online]. [cit. 2020-2-8]. URL: <[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/159/99685159/att\\_83708/v1/G120\\_Field\\_busses\\_FH17\\_0414\\_eng\\_en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/159/99685159/att_83708/v1/G120_Field_busses_FH17_0414_eng_en-US.pdf)>
- [10] Siemens. *Machine level visualization with SIMATIC HMI*. [online]. [cit. 2020-2-26]. URL: <<https://new.siemens.com/global/en/products/automation/simatic-hmi/panels.html>>
- [11] Siemens. *SINAMICS G120C, Low voltage converter 11/2016*. [online]. [cit. 2020-2-26]. URL: <<https://inverterdrive.com/file/Siemens-G120C-Operating-Instructions>>
- [12] Siemens. *SINAMICS G120C, List Manual 04/2014*. [online]. [cit. 2020-2-26]. URL: <[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/780/99683780/att\\_863315/v1/G120C\\_List\\_Manual\\_LH13\\_0414\\_eng.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/780/99683780/att_863315/v1/G120C_List_Manual_LH13_0414_eng.pdf)>

## Seznam příloh

Příloha	Popis přílohy	Počet stran
E001	Titulní list projektu	1
E002	Seznam dokumentů	1
E003	Technická zpráva	6
E004	Projekt rozvaděče +RFM	14
E005	Výpočet oteplení rozvaděče +RFM	5
E006	Protokol o určení vnějších vlivů	3
E007	Posouzení a omezení rizika	5
E008	Záloha projektu pro ovládání elektrického pohonu TIAportal V14	.zap14